

#3
JRTS
06-801
JC841 U.S. PTO
09/772894
01/31/01

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Junichi AKIYAMA, et al.

GAU:

SERIAL NO: New Application

EXAMINER:

FILED: Herewith

FOR: THERMALLY-ASSISTED MAGNETIC RECORDING HEAD, METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND THERMALLY-ASSISTED MAGNETIC RECORDING APPARATUS

REQUEST FOR PRIORITY

ASSISTANT COMMISSIONER FOR PATENTS
WASHINGTON, D.C. 20231

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Provisional Application Serial Number, filed, is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e).
- ☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
Japan	2000-022884	January 31, 2000
Japan	2000-094097	March 30, 2000

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number .
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
(B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.



Marvin J. Spivak

Registration Number 21,124

Registration Number 21,124



22850

Tel. (703) 413-3000
Fax. (703) 413-2220
(OSMMN 10/98)

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

JC841 U.S. PTO
09/772894
01/31/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2000年 1月31日

出願番号
Application Number: 特願2000-022884

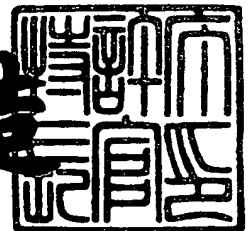
出願人
Applicant (s): 株式会社東芝

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2000年 8月 4日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



【書類名】 特許願

【整理番号】 12383901

【提出日】 平成12年 1月31日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G11B 5/00

【発明の名称】 熱アシスト磁気記録ヘッド及び熱アシスト磁気記録装置

【請求項の数】 12

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究
開発センター内

【氏名】 秋 山 純 一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究
開発センター内

【氏名】 市 原 勝太郎

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区小向東芝町 1 株式会社東芝 研究
開発センター内

【氏名】 波多腰 玄 一

【特許出願人】

【識別番号】 000003078

【住所又は居所】 神奈川県川崎市幸区堀川町 7 2 番地

【氏名又は名称】 株式会社 東 芝

【代理人】

【識別番号】 100064285

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐 藤 一 雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100088889

【弁理士】

【氏名又は名称】 橋 谷 英 俊

【選任した代理人】

【識別番号】 100082991

【弁理士】

【氏名又は名称】 佐 藤 泰 和

【選任した代理人】

【識別番号】 100108062

【弁理士】

【氏名又は名称】 日 向 寺 雅 彦

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 004444

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 熱アシスト磁気記録ヘッド及び熱アシスト磁気記録装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

記録媒体の記録部を加熱昇温して保磁力を低下させ、この保磁力が低下した記録部に記録磁界を印加することにより磁気的情報を記録可能とした熱アシスト磁気記録ヘッドであって、

開口を有する光吸収膜と、

前記開口を介して前記記録媒体に光を照射することにより前記記録部を加熱昇温するレーザ素子と、

前記記録部に前記記録磁界を印加する記録磁極と、

を備え、

前記開口は、前記レーザ素子から放出される光の偏光方向に沿った開口幅W1が偏光方向に対して略垂直な方向の開口幅W2よりも短いことを特徴とする熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 2】

前記開口幅W1は、前記レーザ素子から放出される前記光の中心波長の $1/2$ よりも短いことを特徴とする請求項 1 記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 3】

前記記録媒体に形成される記録トラックに沿った方向に対して前記レーザ素子から放出される光の偏光方向が略垂直になるように前記レーザ素子及び前記開口が設けられたことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 4】

前記レーザ素子と前記光吸収膜との間に設けられた誘電体膜をさらに備えたことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 つに記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 5】

前記誘電体膜の光学的膜厚は、前記レーザ素子から放出される光の波長 λ に対

して 0.05 μ m 以上で 0.35 μ m 以下であることを特徴とする請求項 4 記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 6】

前記開口幅 W1 は、その幅方向に対して垂直な電界ベクトルを有する光の前記開口における吸収損失が、その幅方向に対して垂直な磁界ベクトルを有する光の前記開口における吸収損失よりも 10 倍以上大きくなる範囲に設定されていることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか 1 つに記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 7】

前記レーザ素子は、発振モードが TM モードの半導体レーザ素子であることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか 1 つに記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 8】

前記レーザ素子から放出される光を集束して前記開口に入射させる光学的集光手段をさらに備えたことを特徴とする請求項 1～9 のいずれか 1 つに記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 9】

前記開口に誘電体または半導体が埋め込まれていることを特徴とする請求項 1～8 のいずれか 1 つに記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 10】

前記記録媒体に記録された前記磁気的情報を再生する再生素子をさらに備えたことを特徴とする請求項 1～9 のいずれか 1 つに記載の熱アシスト磁気記録ヘッド。

【請求項 11】

請求項 1～10 のいずれか 1 つに記載の熱アシスト磁気記録ヘッドと、
記録媒体と前記磁気記録ヘッドとを相対的に移動させるための駆動機構と、
を備えたことを特徴とする熱アシスト磁気記録装置。

【請求項 12】

記録媒体をさらに備え、
前記記録媒体は、前記磁気的情報が記録される記録層と、前記記録層の上に設

けられた誘電体または半導体からなる光反射防止層と、を有することを特徴とする請求項 1 1 に記載の熱アシスト磁気記録装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、熱アシスト磁気記録ヘッド及び熱アシスト磁気記録装置に関し、より詳細には、光照射により磁気記録媒体を加熱昇温して磁気記録を行うことにより極めて高密度な磁氣的記録を可能とした新規な熱アシスト磁気記録ヘッド及び熱アシスト磁気記録装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

磁氣的に情報の記録再生を行う磁気記録装置は、大容量、高速、安価な情報記憶手段として発展を続けている。特に近年のハードディスクドライブ（HDD）の進展は著しく、製品レベルで記録密度は 10Gb/in^2 (Giga bits per square inch) を、内部データ転送速度は 100Mbps (Mega bits per second) を超え、メガバイト単価は数円/MB に低価格化している。HDD の高密度化は、信号処理、メカ・サーボ、ヘッド、媒体、HDI など複数の要素技術の集大成として進展してきているが、近年、媒体の熱擾乱問題が HDD の高密度化の阻害要因として顕在化しつつある。

【0003】

磁気記録の高密度化は、記録セルの微細化により実現するが、記録セルの微細化により媒体からの信号磁界が減少する為、所定の信号対雑音比（S/N）を確保する上では、媒体ノイズの低減化が必須となる。媒体ノイズの主因は、磁化転移部の乱れであり、乱れの大きさは媒体の磁化反転単位に比例する。磁気媒体には多結晶磁性粒子からなる薄膜（本願明細書においては、「多粒子系薄膜」あるいは「多粒子系媒体」と称する）が用いられているが、多粒子系薄膜の磁化反転単位は、粒子間に磁氣的な交換相互作用が作用する場合は、交換結合された複数の磁性粒子から構成される。

【0004】

従来、例えば数 100 Mb/in^2 から数 Gb/in^2 の記録密度においては、媒体の低ノイズ化は主に、磁性粒子間の交換相互作用を低減し磁化反転単位を小さくする事で実現してきた。最新の 10 Gb/in^2 級の磁気媒体では、磁化反転単位は磁性粒子 2-3 個分にまで縮小されており、近い将来、磁化反転単位は磁性粒子一つに相当するまで縮小するものと予測される。従って今後さらに磁化反転単位を縮小して所定の S/N を確保する為には、磁性粒子の大きさ自身を小さくする必要がある。磁性粒子の体積を V とおくと粒子の持つ磁氣的エネルギーは $K_u V$ で表わされる。ここで K_u は粒子の磁気異方性エネルギー密度である。低ノイズ化の為に V を小さくすると $K_u V$ が小さくなり室温付近の熱エネルギーによって記録情報が乱れる、という熱擾乱問題が顕在化する。

【0005】

Sharrockらの解析によれば、粒子の磁氣的エネルギーと熱エネルギー (kT ; k : ボルツマン定数、 T : 絶対温度) の比、 $K_u V/kT$ は 100 程度の値でないと記録寿命の信頼性を損ねる。従来から媒体磁性膜に用いられてきた CoCr 基合金の K_u ($2-3 \times 10^6 \text{ erg/cc}$) では、低ノイズ化の為に粒径微細化を進めると熱擾乱耐性の確保が困難な状況に至りつつある。そこで近年、 CoPt 、 FePd など 10^7 erg/cc 以上の K_u を示す磁性膜材料が注目を浴びてきているが、粒径微細化と熱擾乱耐性を両立する為に、単純に K_u を上げると別の問題が顕在化する。それは記録感度の問題である。媒体磁性膜の K_u を上げると媒体の記録保磁力 ($H_{c0} = K_u/I_{sb}$; I_{sb} : 媒体磁性膜の正味の磁化) が上昇し、 H_{c0} に比例して飽和記録に必要な磁界が増加する。

【0006】

記録ヘッドから発生し媒体に印加されるの記録磁界は記録コイルへの通電電流の他に、記録磁極材料、磁極形状、スペーシング、媒体の種類、膜厚などに依存するが、高密度化に伴い記録磁極先端部のサイズが縮小する事を考慮すると、発生磁界の大きさには限界がある。

【0007】

例えば、最も発生磁界の大きな単磁極ヘッドと軟磁性裏打ち垂直媒体の組合せでも、記録磁界の大きさは高々 10 kOe 程度が限界である。一方で将来の高密

度・低ノイズ媒体に必要な5nm程度の粒径で、十分な熱擾乱耐性を得る上では、 10^7 erg/cc 以上のKuを示す磁性膜材料を採用する必要があるが、その場合、室温付近における媒体の記録に必要な磁界は10kOeを軽く上回る為、記録が出来なくなる。従って単純に媒体のKuを増加させてしまうと、記録自体が出来ないという問題が顕在化するのである。

【0008】

以上説明したように、従来の多粒子系媒体を用いた磁気記録では、低ノイズ化、熱擾乱耐性の確保、記録感度の確保がトレードオフの関係にあり、これが記録密度の限界を決定する本質的な問題となっていた。

【0009】

この問題を解決する方法として、熱アシスト磁気記録方式が考えられる。多粒子系媒体を用いる熱アシスト磁気記録方式では、十分にノイズが低くなる程度に微細な磁性粒子を用い、熱擾乱耐性を確保する為に室温付近で高いKuを示す記録層を用いることが望ましい。このような大きなKuを有する媒体は、室温付近では記録に必要な磁界が記録ヘッドの発生磁界を上回り記録不能である。これに対して、熱アシスト磁気記録方式においては、記録磁極の近傍に光ビームなどを用いた媒体加熱手段を配し、記録時に局所的に媒体を加熱し加熱部のHc0をヘッドからの記録磁界以下に低下させて記録する。

【0010】

この基本コンセプトを実現する上での重要なポイントは、加熱中もしくは加熱直後の媒体が冷却する前に記録磁界を供給して記録を完了すること、隣接トラックを加熱して隣接磁化転移を熱擾乱で破壊することが無いように、記録磁極の幅程度の微小領域のみを選択的に加熱することであると考えられる。

【0011】

多粒子系媒体を用いる態様では、隣接トラックの熱擾乱と共に、記録しようとしているトラックに形成した磁化転移が、下流側の未だ温度が十分に冷め切らない領域で熱擾乱の影響を受けない様な工夫が必要となるが、記録密度は粒径で決まり、かつ磁化反転速度が極めて速い、という利点がある。

【0012】

一方、連続磁性膜すなわち非晶質状の磁性膜を用いる方式では、記録密度が磁壁の厚み（ $10 - 20 \text{ nm}$ ）で規定され、磁壁移動を伴う場合は磁壁移動速度（数 10 m/s ）がデータ転送速度を規定する、といった多粒子系には無い短所を有する反面、磁性粒子の体積 V は無限大と見なせるので熱擾乱問題は考える必要が無い。連続磁性膜を用いる方式においても、室温付近の媒体保磁力をヘッド磁界よりも高く、加熱部の媒体保磁力をヘッド磁界よりも低く調整する点では前記の多粒子系と同じである。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

連続磁性膜として光磁気記録媒体を用い、熱アシスト的な磁気記録を試みた先行技術は、例えば日本応用磁気学会誌 $\text{vol. 23, No. 8, pp. 1901 - 1906, 1999}$ に開示されている。この先行例では、媒体を加熱する熱源としてはファーフィールドの光ビームを利用し、記録磁極と光ビーム源は媒体に対して互いに対向して配置されているので、両面記録は困難であると共にニアフィールド光の利用は不可能である。また、記録ビット長は磁気ヘッドにより決定されるが、記録トラック幅は光スポットで決定しているため、トラック幅の限界はファーフィールド光のスポットサイズに制限される。即ち短波長レーザと高 NA のレンズを組合せたとしてもトラック幅は数 100 nm が限界であり、さらなる高密度化が困難であるという問題があった。

【0014】

さらに、この先行例では光照射位置と記録磁界印加位置とは略一致しているため、媒体を加熱するに要する時間でデータ転送速度が規定される、という問題もあった。

【0015】

さらなる超高密度の熱アシスト磁気記録を実現する為には、発光素子として光の波長よりも短いサイズの開口による近接場光の生成と近接場光の利用効率の向上が必要である。しかし、そのためには大きな問題がある。すなわち、開口の構造として通常は、光吸収の大きい材料に開口を設ける等の構造が用いられるが、この場合、開口以外の領域は光を透過させない必要があるため、金属等の極めて

大きい吸収損失をもつ材料を用い、かつ光が透過しないだけの「厚さ」が必要である。

【0016】

しかしながら、このような光吸収の大きい有限の厚さの膜に開けられた開口を通過する光は、その開口自身の吸収の影響を受け、十分な光出力が出射側で得られない。つまり、近接場光による効率は極めて低く、熱アシスト磁気記録のための媒体加熱用光源としては用いることができない。光出力を上げるためには光源としては高出力のレーザを用いる必要があるが、そのような高出力レーザの端面に金属などの光吸収の大きな膜を設けると、光吸収による発熱で、端面近傍が極めて高温になり、発光素子に近接配置する磁気素子を含むデバイスの熱的な損傷や劣化の原因となる。

【0017】

本発明は、かかる課題の認識に基づいてなされたものである。すなわち、その目的は、記録媒体の加熱源として用いる発光素子に関する上述の課題を解決し、効果的に記録媒体の記録部を加熱昇温して超高密度の熱アシスト磁気記録を可能にする熱アシスト磁気記録ヘッド及び熱アシスト磁気記録装置を提供することにある。

【0018】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成する手段として、本発明の熱アシスト磁気記録ヘッドは、記録媒体の記録部を加熱昇温して保磁力を低下させ、この保磁力が低下した記録部に記録磁界を印加することにより磁気的情報を記録可能とした熱アシスト磁気記録ヘッドであって、開口を有する光吸収膜と、前記開口を介して前記記録媒体に光を照射することにより前記記録部を加熱昇温するレーザ素子と、前記記録部に前記記録磁界を印加する記録磁極と、を備え、

前記開口は、前記レーザ素子から放出される光の偏光方向に沿った開口幅 $W1$ が偏光方向に対して略垂直な方向の開口幅 $W2$ よりも短いことを特徴とする。

【0019】

上記構成によれば、レーザ素子から放出される光の開口における損失を飛躍的

に低減させ、光の取り出し効率を大幅に増大させることが可能となる。その結果として、光を加熱源とした熱アシスト磁気記録ヘッドを実現することができる。

【0020】

ここで、本発明の望ましい実施の態様として、前記開口幅 $W1$ は、前記レーザ素子から放出される前記光の中心波長の $1/2$ よりも短いものとするると微小の光ビームを高い効率で取り出すことができる。

【0021】

また、前記記録媒体に形成される記録トラックに沿った方向に対して前記レーザ素子から放出される光の偏光方向が略垂直になるように前記レーザ素子及び前記開口が設けられたものとするれば、隣接トラックに対するクロスイレーズを確実に防止することができる。

【0022】

また、前記レーザ素子と前記光吸収膜との間に設けられた誘電体膜をさらに備えることにより、レーザ素子と開口との光の結合効率を改善することができ、同時にレーザ素子における電氣的な短絡も防止することができる。

【0023】

さらに、前記誘電体膜の光学的膜厚を、前記レーザ素子から放出される光の波長 λ に対して 0.05λ 以上で 0.35λ 以下とすると、光の取り出し効率を高くすることができる。

【0024】

また、前記開口幅 $W1$ は、その幅方向に対して垂直な電界ベクトルを有する光の前記開口における吸収損失が、その幅方向に対して垂直な磁界ベクトルを有する光の前記開口における吸収損失よりも10倍以上大きくなる範囲に設定されたものとするることにより、狭い開口幅でもTMモードとTEモードを効率的に透過させることができる。

【0025】

また、前記レーザ素子は端面発光型や面発光型などの半導体レーザ素子であり、その発振モードがTMモードであるものとするれば、開口を高い効率で透過させる光を得ることができる。

【 0 0 2 6 】

また、前記光吸収膜は、金属からなるものとする、膜厚を薄くし開口における透過効率を高く維持することができる。

【 0 0 2 7 】

また、前記レーザ素子から放出される光を集束して前記開口に入射させる光学的集光手段をさらに備えることにより、光の取り出し効率をさらに改善することができる。

【 0 0 2 8 】

また、前記開口に誘電体または半導体が埋め込まれているものとする、光の取り出し効率をさらに改善することができる。

【 0 0 2 9 】

また、前記記録媒体に記録された前記磁気的情報を再生する再生素子をさらに備えたものとする、記録再生一体型のヘッドを実現できる。

【 0 0 3 0 】

一方、本発明の熱アシスト磁気記録装置は、前述したいずれかの熱アシスト磁気記録ヘッドと、記録媒体と前記磁気記録ヘッドとを相対的に移動させるための駆動機構と、を備えたことを特徴とし、従来よりも飛躍的に記録密度を高めた熱アシスト磁気記録を実現することができる。

【 0 0 3 1 】

ここで、記録媒体をさらに備え、前記記録媒体は、前記磁気的情報が記録される記録層と、前記記録層の上に設けられた誘電体または半導体からなる光反射防止層と、を有するものとする、光の照射効率をさらに改善することができる。

【 0 0 3 2 】

本発明の特徴を別の観点から挙げると、光ビームと記録磁界を媒体の同一面側から供給すること、発光素子と磁気記録素子が一体型の構造を為すこと、媒体移動方向の上流側から発光素子、記録磁極の順番に積層されていることなどがある。発光部と記録磁極とは特に近接配置すると良い。

【 0 0 3 3 】

光ビームと記録磁界を媒体の同一面側から供給することにより、近接場光の利

用を可能とし、ファーフールド光では実現不能な数 1 0 n m の微小領域の選択的加熱を可能足らしめる。発光素子と磁気記録素子が一体型の構造を為す事により、構成が複雑で質量の重い光学系を除きヘッドの高速シーク動作を可能足らしめると共に、導波路やファイバーを用いて光照射する方式に比較して光利用効率を格段に高め、数 1 0 m W の半導体レーザーの採用を可能足らしめる。また、媒体移動方向の上流（リーディング）側から発光素子、記録磁極の順番に積層する構成と、発光部と記録磁極の近接配置によって、十分に媒体の $H_c 0$ が低下しているタイミングで記録磁界を供給する事が可能となる。

【 0 0 3 4 】

本発明者は、微小開口におけるレーザー光の損失はレーザー光の偏光方向と開口形状に依存することを見出した。すなわち、レーザー光の偏光方向に対して垂直な方向に開口幅を狭くすると損失が大きくなるが、偏光方向と同じ方向に開口幅を狭くしても損失は大きくならない。この原理の具体的な考察については後に詳述する。

【 0 0 3 5 】

従って、本発明において、半導体レーザー素子の光出射面の外側に設置する開口が記録トラック方向に長い矩形形状を成し、前記矩形の長辺方向に対して垂直な方向に電場を有する光を用いることにより、開口における損失を大きくすることなく、より小さいスポット光を得ることが可能となる。これにより、レーザー光のスポット径の極小化が可能で、かつ開口を通過する光の効率の高い熱アシスト用発光素子の実現できる。

【 0 0 3 6 】

その結果として、ヘッドと媒体とを高速に相對運動させ、しかも記録ビットサイズを小さくした場合においても、記録媒体上の微小記録部に十分な量の光を照射することができ、その記録部を熱アシスト磁気記録に必要な温度まで加熱昇温させることが可能となる。つまり、本発明によれば、飛躍的に超高密度の熱アシスト磁気記録ヘッド及び熱アシスト磁気記録装置を提供することができる。

【 0 0 3 7 】

【発明の実施の形態】

以下、具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0038】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係わる熱アシスト磁気記録装置の概略構成を示す図である。すなわち、同図(a)は記録再生ヘッド部を媒体面側から見込んだ平面図であり、同図(b)は媒体を含めたトラック方向のA-A'線断面図である。

【0039】

図1において、符号20-22で示した部分は媒体の主要部であり、その他の符号で示した部分は全て記録再生ヘッドの構成主要部である。ヘッドの構成要素は、符号30-36により表される各要素からなる発光素子部、符号40-44により表される各要素からなる磁気記録素子部、符号50-53により表される各要素からなる磁気再生素子部、符号80により表される保護コート部からなる。また、図中の符号70はヘッドに対する記録媒体の相対的な走行方向を示す。なお、磁気再生素子部は、磁気記録ヘッドとは別体のヘッドに設けても良い。

【0040】

本発明のヘッドは、図中に示した様に、上流(リーディング)側から、発光素子部、磁気記録素子部、磁気再生素子部の順番に並ぶ構成となっている。ここで上流(リーディング)、下流(トレーリング)とは媒体がヘッドに対して上流側から下流側へ移動して記録再生を行うことに対応する表現である。また、リーディングエッジ(Leading Edge)、トレーリングエッジ(Trailing Edge)とはヘッドを構成する各要素(例えば発光素子、光学開口、記録磁極、再生素子など)のトラック方向の上流側端部、下流側端部を意味する。なお図1では、煩雑を避けるため、再生素子部の詳細な構造や電極取出し部の詳細な構造などは省いて示してある。

【0041】

図1の磁気記録素子部の構成においては、44は絶縁層(例えばSiO₂膜)、41はリターンパス用磁極(例えばNiFe膜)、40は記録磁極先端部(主磁極:例えばFe系合金)、42-43は記録磁界発生用のCuコイルをそれぞれ

れ表す。

【0042】

図1の磁気再生素子部の構成においては、51は上流側シールド（例えばNiFe膜）、53は再生ギャップ（例えばSiO₂膜）、50はGMR再生素子部（例えばCoFe/Cu/CoFe/FeMn積層膜）、52は下流側シールド例えばNiFe膜である。図1（a）には示していないがGMR素子の両端はハードバイアス膜例えばCoPt、及びメタル電極膜が連結されている。60はヘッド基板（AlTiC等のセラミクス、サファイア基板等）であり、この上に発光素子、磁気記録素子、磁気再生素子が順に積層形成される。80はヘッド全体の保護膜であり、例えば膜厚数10μmのAl₂O₃膜を用いることができる。

【0043】

図1の媒体部の構成においては、20は磁気記録層、例えば膜厚20nmのCoPt-SiO₂垂直磁化・多粒子系薄膜、21は軟磁性下地例えば膜厚100nmのNiFeを示している。媒体構成において、基板、保護膜、潤滑膜は省いて示してある。

【0044】

次に、発光素子部について詳細に説明する。

【0045】

図2（a）は、図1に示す発光素子部の概略構成を説明するための斜視図であり、図2（b）は、このレーザの断面構造の一例を表す概念図である。図中の10は半導体レーザ素子、33は活性層、35は光吸収膜、34は絶縁膜、36は光吸収膜35に設けられた開口をそれぞれ表す。30はn型GaNなどから成るLD基板材料である。また、開口部36はヘッド部の媒体対向面からFIB（Focused Ion Beam）エッチングにより加工され、開口内部は空洞である。

【0046】

このレーザはTE（transverse electric）モードで発振しており、レーザ光の偏光方向は接合面と平行方向、すなわち電界ベクトルの方向が水平方向である。

【0047】

図2 (b) において、101 (30) はn型GaAs基板、102 (31) はn型InGaAlPクラッド層、104はp型InGaAlPクラッド層、103 (33) はGaAlAsの多重量子井戸構造(MQW) からなる活性層、104はn型GaAs電流阻止層、105はp型GaAsコンタクト層である。ダブルヘテロ構造部のクラッド層104がメサ状に加工され、その側面に電流阻止層104が埋め込まれて埋め込みレーザとなっている。但し、レーザ素子の構造としては、図2 (b) に表したのものには限らず、各種の変形が可能であることは勿論のことである。

【0048】

絶縁膜34としてはSiO₂、TiO₂、Ta₂O₅、α-Siなどを用いることができる。この層は、半導体レーザ素子端面の保護膜としての役割もある。また、光吸収膜35の材料としては、Au、Ag、Cu、Al、Pt、Tiなどの金属を用いることができる。

【0049】

これらの金属は非常に大きい吸収係数を持つため、例えば100nm程度の厚さがあれば、開口のない領域では光は殆ど透過しない。しかしながら、開口部を透過する光の損失に関しては、これまで十分な解析が行われていなかった。通常の微小開口では、開口部を透過する光も大きな損失を受けるため、効率が極めて低いという問題があった。

【0050】

本発明のひとつの特徴は、レーザ光の偏光方向に沿った開口幅W1を偏光方向に垂直な方向の開口幅W2よりも短くしたことである。より具体的には、レーザ光の偏光方向と同じ方向の開口幅W1が半導体レーザの発振波長の1/2よりも短く、偏光方向に垂直な開口幅W2を開口幅W1よりも長くすることが望ましい。これにより、開口を透過する光の損失を極めて小さくできる。その原理について、以下に説明する。

【0051】

図3 (a) (b) は、金属導波路中の導波モードを計算した結果を表すグラフ図である。ここでは簡単のために、金(Au)に微小開口として幅50nmのス

リットを設けた場合の導波モードを計算した。また、図 3 (a) は開口幅が 5 0 ナノメートルと比較的小さい場合、図 3 (b) は開口幅が 3 0 0 ナノメートルと比較的大きい場合をそれぞれ表す。

【 0 0 5 2 】

図 3 から明らかなように、モードの分布形状が T E モード（電界ベクトルの方向がスリット両端の境界線に対して平行なモード）と T M (transverse magnetic) モード（磁界ベクトルの方向がスリット両端の境界線に対して平行なモード）とで大きく異なっている。なお、ここで言う「T E モード」、「T M モード」とは、レーザ素子の発振モードではなく、スリットに対して定義している。

【 0 0 5 3 】

図 3 の縦軸に表した光強度は、ポインティングベクトルの伝搬方向成分を示したもので、T M モードの光強度が空気と金属との界面で不連続なのは、電界ベクトルの境界面に垂直方向の成分が不連続であることに起因している。すなわち、連続となる量は電界ベクトルの境界面に垂直な方向の成分を n^2 で割ったもの（ n は複素屈折率）であるため、 n^2 の実数部絶対値が大きい金属中では、光強度が大幅に小さくなる。

【 0 0 5 4 】

一方、T E モードでは境界面に垂直方向の電界ベクトル成分は 0 であるために、 $1/n^2$ の係数はかからず、金属中に大きくしみ出すモードとなる。

【 0 0 5 5 】

図 3 (b) に示したように、スリット（開口）幅が比較的大きいと、このしみ出しはあまり顕著ではない。これに対して、図 3 (a) のように小さいスリット幅では T E モードのしみ出し部分が大きくなり、T M モードと比較すると「しみ出し」の割合が大きく異なる。金属中にしみ出している部分は大きな吸収損失を受けるため、導波モードとしては大きな損失を持つモードとなる。しかしながら、T M モードではスリット幅が小さくても、上述した理由により金属中へのしみ出しが小さいため、導波モード損失は極めて小さい。

【 0 0 5 6 】

図 1、図 2 に示した実施形態は、この特徴を利用したものである。すなわち、

レーザ光の偏光方向と同じ方向ではスリット幅を小さくしても損失は大きくならないという特徴を利用して、この方向の開口幅を短くし、効率の高い微小スポット光を得ることを可能にしたものである。

【0057】

図4（a）は、スリット形状と各方向の光強度分布を表す説明図である。また、図4（b）は、この光強度分布を3次元的に表したグラフ図である。

【0058】

レーザ光の偏光方向に対して、スリット形状を図4（a）に示したような配置に設定することにより、波長以下の微小開口においても極めて低損失の導波モードを実現することができる。つまり、開口周囲の金属部分へのしみ出しによる光の損失を大幅に低減し、飛躍的に高い効率で光を取り出して媒体に照射することができる。

【0059】

さらに、本発明によると、媒体の磁化遷移を直線的に形成し、再生分解能を改善することもできる。

【0060】

図5は、記録媒体に形成される磁化遷移を表した概念図であり、同図（a）は通常の光ビームにより加熱する記録方式による場合、同図（b）は本発明の熱アシスト磁気記録による場合をそれぞれ表す。

【0061】

図5（a）に表したように、通常の光ビームを用いて媒体を加熱し磁気記録を実行すると、磁化遷移は涙型に湾曲して形成される。これは、通常の光ビームはガウス型の強度分布を有し、このような光ビームにより媒体が加熱されると、ガウス型の強度分布に対応して湾曲した温度分布が媒体に形成されるからである。

【0062】

従って、記録磁極から媒体に記録磁界を印加して磁気転移を形成すると、磁化遷移は湾曲して形成される。磁気ヘッドの再生部において磁気ギャップは通常は直線状に形成されるので、媒体の磁化遷移の湾曲量 ΔX が大きい程、再生分解能は低下することとなる。

【 0 0 6 3 】

これに対して、本発明によれば、図 5 (b) に表したように磁化遷移を直線状に形成することができる。これは、図 5 (b) に表したように、媒体表面における光強度分布はに内側に湾曲した分布を有し、媒体上では加熱部から周囲への放熱が生ずるために、結果として形成される等温分布が直線状に近づくからである。この効果は、図 4 (a) 及び (b) に例示したような独特の光強度分布からも理解できる。

【 0 0 6 4 】

このように直線上の等温線が形成される結果として、磁気記録により生ずる磁化遷移も直線状に形成することができ、高い記録分解能を得ることできる。

【 0 0 6 5 】

さらに、本発明によれば、図 4 (a) 及び (b) に例示したように、記録トラックの幅方向（媒体走行方向に対して垂直な方向）に沿った光強度分布を極めて急峻にすることができる。従って、トラック方向にみた開口の幅をトラック幅と略等しくすると、光が隣接トラックに照射されて生ずる「クロスイレーズ」を確実且つ容易に低減することができる。

【 0 0 6 6 】

ところで、図 3 および図 4 では、微小開口を設ける光吸収薄膜が金の場合を示したが、他の金属膜、例えば銀 (A g) の場合も同様である。

【 0 0 6 7 】

図 6 は、A g における導波モードの解析例を表すグラフ図である。同図から明らかなように、やはり T M モードもしみ出しが小さく、損失が小さいことが分かる。

【 0 0 6 8 】

図 7 は、A u 導波路における導波モード損失のスリット幅 W に対する依存性を計算した例を表すグラフ図である。同図から、スリット幅の小さい領域では、T M モードの損失が T E モードに比べて 2 桁低いことが分かる。すなわち、狭い開口幅の方向に対しては、T M モードすなわち偏光方向が開口の辺に直交する方向

で用いると損失が極めて小さくなることが定量的に示されている。

【0069】

具体例として、厚さ100nmのAuに50nmの開口（スリット）が開いていた場合、図7より透過率は以下ようになる。

【0070】

開口のないところ：0.001

TEモード透過率：0.006

TMモード透過率：0.956

従って、この厚さの吸収膜では光は十分減衰し、かつTMモードは開口部を殆ど損失がなく透過できることが分かる。一方、TEモードはこのスリット幅では殆ど透過しない。図7からTEモードに対してはスリット幅を260nm以上とすることにより損失を低減できることが分かる。

【0071】

以上詳述したように、開口の形状としては、レーザ光の偏光方向の幅を狭く、それと直交する方向を長くした構造、すなわち図2或いは図4（a）に示したような配置にしておけば極めて損失が少なく且つ微小な寸法の光スポットを得ることが可能となる。

【0072】

本実施形態においては、レーザ光の偏光方向が水平方向であるので、開口は縦長の形状としている。具体的には水平方向の開口幅W1を発振波長の1/2より短く、垂直方向の開口幅W2をそれより大きくとっている。上述した計算結果より、例えばW1を50nmと小さくしても開口を透過する光の損失は極めて小さいことが分かる。これにより、波長よりも1桁程度小さいビームサイズの光スポットで記録媒体の記録部を効果的に加熱昇温することが可能となる。

【0073】

なお、光吸収膜12としては上述のAuだけでなく、他の金属も有効である。図8～図12は、それぞれAg、Cu、Al、Pt、Tiを光吸収膜として用いた場合のTEモード、TMモードそれぞれに対する損失を計算した結果を例示するグラフ図である。いずれもTMモードの方がTEモードより損失が小さく、ま

た、Ag、Cu、AlはAuと同様に2桁程度或いはそれ以上損失差があり、本発明の光吸収膜として極めて有効であることが分かる。

【0074】

次に、開口から出射した後の光強度分布についてさらに詳細に説明する。

【0075】

図13はスリットから空気中に出た後の光強度分布を示したグラフ図である。すなわち、同図(a)～(d)はそれぞれスリット幅 W が100、50、30及び10ナノメートルの場合のエバネッセント (evanescent) 光も含んだ全体の光強度分布を表し、同図(e)～(h)はそれらのうちの伝搬光成分すなわちポインティングベクトル成分を表すグラフ図である。

【0076】

これらのグラフから分かるように、伝搬光成分はスリット幅 W とレーザ波長 λ との比 W/λ が大きいほど大きくなる。実際に利用できる光は伝搬光成分が主となるので、 W/λ は大きい方が望ましい。一方、微小スポットを得るためには、 W を小さくすることが必要である。従って、レーザ光の波長 λ が小さい値、すなわち短波長ほど、微小スポットを得るのに有利である点は従来の光学系と同様である。

【0077】

一方、光源波長が短波長の場合には、それに適した吸収膜を設けることが必要である。

【0078】

図14は、図3に例示したAuのスリットに対して、光源波長が400nmの場合の導波モードの様子を表すグラフ図である。ここで留意すべき点は、同じAuであっても、図3の場合と異なり、TMモードでのしみ出しが大きいことである。これは、波長400nmでは金における n^2 の実数部が1より小さく、従って金属中ではむしろ電界強度が大きくなることによるものである。

【0079】

これに対して、アルミニウム (Al) の場合では、400nmにおいても n^2 の実数部が1より大きい。このため、図15に表したように、TMモードは金属

中で大きく減衰し、結果的に損失は小さくなる。

【 0 0 8 0 】

図 1 6 及び図 1 7 は、それぞれ金及びアルミニウムの場合の各モードの損失を定量的に表したグラフ図である。これらのグラフから、短波長の 4 0 0 n m では光吸収膜として、例えばアルミニウムを用いるのが望ましいことが分かる。

【 0 0 8 1 】

以上詳述したように光源の波長に応じて適宜材料を選択して開口を形成し、その開口部のトレーリング側に記録磁極を近接配置しておけば、所定パワーの光が前記開口から記録媒体の記録部へ高効率で照射される為、効率良く記録部を加熱昇温することが可能となる。この加熱昇温された記録部に記録磁極から記録磁界を印加して、その後、急冷過程を経て記録磁化を安定化させれば高速かつ超高密度の熱アシスト磁気記録を実現することができる。

【 0 0 8 2 】

ところで、上述した具体例では F I B エッチングにより空洞状の開口部を形成したが、薄膜形成技術とフォトリソグラフィ技術を用いて、この開口部内部に屈折率の高い誘電体あるいは半導体などの材料を埋め込むことにより、開口部から記録媒体側にしみ出す光の利用効率をより向上させることができる。その結果、より効率的に熱アシスト磁気記録することができる。

【 0 0 8 3 】

なお、本実施例は、媒体としては多粒子系を用いたが、基板上に、連続磁性膜そして多粒子系磁性膜を順次積層した構成、あるいは、基板上に、連続磁性層、数 n m 厚み程度の極薄の非磁性層（あるいは C o Z r N b 等の軟磁性アモルファス層）、多粒子系磁性層を順次積層した構成を用いても差し支えない。

【 0 0 8 4 】

このような構成の媒体を用いることで、多粒子系層と連続磁性層との間に働く交換結合力の温度特性を利用することによって、多粒子系記録層単体では得ることが困難な記録温度付近での保持力 $H_c 0$ の温度特性を急峻化したり、記録温度付近からそれ以上の温度で媒体記録層の活性化体積 V を増やすことが可能となる

。その結果として、トラック方法の線記録分解能を上げて（すなわち記録信号周波数を増加させても）、記録磁化を安定に形成することが可能となり、しかも、例え、光ビーム径を記録トラック幅より大きくすることで隣接記録トラックが比較的高温度にさらされても、Vの増加により熱擾乱耐性が増す為、クロスレイズを招くおそれも解消することができる。

【 0 0 8 5 】

さらには、本発明は、連続磁性膜を媒体として用いる場合にも効果的である。連続磁性膜媒体としては、例えば、光磁気記録媒体として用いられている、非晶質希土類・遷移金属フェリ磁性合金膜（R-T膜）、より具体的には、ガラス基板上に、Al合金系ヒートシンク層、TbFeCo記録層、C保護層、潤滑層を順次積層した構成などを挙げることができる。

【 0 0 8 6 】

（第2の実施形態）

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。

【 0 0 8 7 】

図18は、本実施形態の熱アシスト磁気記録装置の概略構成を表す断面図である。また、図19は、本実施形態において用いる発光素子の構成を表す斜視概念図である。なお、図18は、媒体を含めたトラック方向の側断面図であり、図19のA-A'線（この直線の方法は記録トラック方法を意味する）で切断した断面図である。これらに図面については、図1乃至図2に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【 0 0 8 8 】

図中20は半導体レーザー素子、33は活性層、34は絶縁膜、35は光吸収膜、36は光吸収膜35に設けられた開口である。このレーザーの偏光方向は接合面と垂直方向、すなわち電界ベクトルの方向が垂直方向である。また、接合面の方向が記録トラック方向である。

【 0 0 8 9 】

本実施形態が前述した第1実施形態と異なる点は、レーザーの偏光方向である。

このように接合面に垂直な方向に偏光方向があるレーザは、例えばクラッド層中に光損失層を設けてTEモードの損失をTMモードより大きくする（すなわち、そのような位置に光吸収層を設ける）、或いは活性層に引っ張り歪みを導入してTMモード発振とする等の方法により実現できる。

【0090】

本実施形態では偏光方向が垂直方向であるため、光吸収膜35に設けた開口36は図19において横長の形状となっている。すなわち、偏光方向に平行な方向の開口幅W1が半導体レーザの発振波長 λ の $1/2$ より短く、偏光方向に垂直な方向の開口幅W2はW1より大きくなっている。本構造の利点は半導体レーザ素子の発振モードの2次元形状と開口形状とを相似形にできることである。これにより、半導体レーザ素子からの光出力を極めて効率良く開口部に入射させることができる。

【0091】

本実施形態により、図1に示す第1の実施形態と基本的に同様の作用、効果を得ることができる。

【0092】

（第3の実施形態）

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。

【0093】

図20は、本実施形態の熱アシスト磁気記録装置の概略構成を表す概念図である。また、図21は、本実施形態において用いる発光素子の構成を表す斜視概念図である。ここで、図20は、媒体を含めたトラック方向の側断面図であり、図21のA-A'線（この直線の方法は記録トラック方向を意味する）で切断した断面図である。図20及び図21についても、図1乃至図19に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0094】

前記した第1及び第2実施形態は、通常の積層型薄膜磁気ヘッドのリーディング側に端面発光型レーザ素子を設けた構成を有するが、本発明はプラナー型薄膜

磁気ヘッドに垂直共振器面発光型レーザ素子を設ける場合にも適用可能である。

図 2 0 は、記録素子部と端面発光型レーザ素子部そしてヨーク型 GMR 再生素子を示したものである。ヨーク型 GMR (giant magnetoresistive) 再生素子において、5 6 は GMR 素子、5 7 は互いに磁気ギャップを形成する磁気ヨーク 5 4、5 5 と GMR 素子 5 6 との電氣的絶縁を保つ A L 2 O 3 等から成る非磁性絶縁層である。なお、GMR 素子にセンス電流を通電するための電極膜は図示していない。また、磁気記録素子は上述の実施形態と基本的に同じ構成である。また、再生素子は、記録ヘッドとは別体のヘッドに設けても良い。

【0095】

図 2 0 及び図 2 1 において、符号 3 0 は n 型半導体基板、3 1 は n 型 D B R 反射層、3 3 は活性層領域（光学的厚さ＝発振波長）、1 3 3 は p 型 D B R 反射層、1 3 4、1 3 5 は p 型コンタクト層、3 4 は絶縁膜、3 5 は光吸収膜、3 6 は光吸収膜 3 5 に設けられた開口、1 3 9、1 4 0 はそれぞれ n 電極および p 電極である。このレーザ素子は垂直共振器面発光型レーザ素子すなわち面発光レーザ素子である。

【0096】

本実施形態においても、開口幅はレーザ光の偏光方向に平行方向が狭く（ $\lambda/2$ 以下）、垂直方向が広がっている。これにより開口 3 6 を透過する光の損失を大きく低減できることは、第 1 および第 2 の実施形態で説明した通りである。偏光方向に直交する A - A' 方向が記録トラック方向であり、開口 3 6 はこの方向に細長い矩形形状を有する。記録磁極 4 0 は開口 3 6 のトレーリング側に近接配置される。このような構成を取ることによって、上述の実施形態と同様の作用、効果を得ることができる。

【0097】

（第 4 の実施形態）

次に、本発明の第 4 の実施の形態について説明する。

【0098】

図 2 2 は、本実施形態にかかる熱アシスト磁気記録装置の概略構成を表す断面

図である。同図についても、図 1 乃至図 2 1 に関して前述したものと同様の部分には同一の符号を付して詳細な説明は省略する。

【0099】

本実施形態は、上述した第 3 実施形態の変形例である。すなわち、本実施形態においては、記録媒体の記録層 2 0 の上に、高い光屈折率を有する光反射防止層 2 4 を設けることによって、開口部 3 6 から記録媒体へ照射される光の利用効率を一層高めることが可能となる。光反射防止層 2 4 の材料としては、例えば、G a P、G a A s、Z n S e、Z n S などの可視光領域で屈折率が 3 以上の半導体または誘電体などを挙げることができる。

【0100】

さらに、本実施形態においては、端面発光型レーザ素子の光出射面から放出される光を集束して前記開口 3 6 に入射させる波面変換部として働く光学的集光手段 3 9 を備える。集光手段 3 9 の具体例としては、例えば回折格子レンズを挙げることができる。

【0101】

図 2 3 は、回折格子レンズを概念的に表した要部概念であり、同図 (a) は要部断面図、同図 (b) はその平面構成図である。

【0102】

このレンズは薄膜工程とフォトリソグラフィー技術により形成することができ、この光集束作用によってレーザ素子からの出射光を効率的に開口部 3 6 へ導くことが可能となる。上述の構成をもつことにより、端面発光型レーザ素子と比べて比較的输出パワーが小さな面発光レーザ素子を用いても開口部 3 6 から記録媒体に対して同等パワーの光を照射し、その記録部を加熱昇温し、熱アシスト磁気記録することが可能となる。

【0103】

(第 5 の実施の形態)

次に、本発明の第 5 の実施の形態として、熱アシスト磁気記録装置の具体例を説明する。

【 0 1 0 4 】

図 2 4 は、本具体例の熱アシスト磁気記録装置を例示するブロック図である。図 2 4 において、 I_o は発光素子駆動入力、 I_s は信号入力、 O_s は信号出力、2 0 1 は発光素子駆動回路系、2 0 2 はヘッドに内蔵された発光素子、2 0 3 は ECC（誤り訂正コード）附加回路系、2 0 4 は変調回路系、2 0 5 は記録補正回路系、2 0 6 はヘッドに内蔵された記録素子部、2 0 7 は媒体、2 0 8 はヘッドに内蔵された再生素子部、2 0 9 は等価回路系、2 1 0 は復号回路系、2 1 1 は復調回路系、2 1 2 は ECC 回路系である。

【 0 1 0 5 】

従来の磁気ディスク装置に、発光素子駆動入力 I_o 、発光素子駆動回路系 2 0 1、発光素子 2 0 2 が附加されたブロック構成を為す点、前記具体例に詳述したように独特の開口を有する発光素子を備えたヘッドの構成が新規な点、第 4 実施形態に関して前述したように記録媒体の光学的特性が特別に調整されている点などが本具体例の熱アシスト磁気記録装置を特徴付け得る要素となる。

【 0 1 0 6 】

発光素子駆動入力はレーザ素子への DC 電圧の供給で構わず、発光素子駆動回路系は特に設けずに発光素子を DC 駆動しても構わない。変調回路の出力に同期させてパルスの的に駆動しても良く、パルス駆動の方が回路構成は複雑化するが、レーザの寿命を長期化する上では好ましい。ECC 附加回路系 2 0 3 と ECC 回路系 2 1 2 は特に設けなくても構わない。変復調の方式、記録補正の方式は自由に選定することが可能である。

【 0 1 0 7 】

媒体への情報入力は、発光素子部 2 0 2 からの光照射と、この光照射で H_c0 が低下している媒体位置に、記録素子部 2 0 6 から記録信号変調された記録磁界を印加することにある。記録情報が媒体面上の磁化転移列として形成される点は従来の磁気記録装置と同等である。この時に、図 5 に関して前述したように本発明によれば、媒体面上での光ビームによる加熱等温線がトラック幅方向に直線状となり、磁化転移もトラック幅方向に直線状となる点も特徴となり得る。直線状の磁化転移は再生分解能を大幅に改善でき高密度化できる点で極めて有利である

【 0 1 0 8 】

磁化転移列から発生する媒体からの漏洩磁界を信号磁界として再生素子部 2 0 8 が検出する。再生素子部は GMR 型が典型的であるが、通常の AMR (anisotropic magnetoresistance) 型でも良く、将来的には TMR (tunneling magnetoresistance) 型を採用しても良い。

【 0 1 0 9 】

以上第 1 乃至第 5 実施形態として具体例を参照しつつ本発明の実施の形態について説明した。

【 0 1 1 0 】

次に、上述した第 1 乃至第 4 実施形態において表した絶縁膜 3 4 の厚さについて説明する。上述したように光吸収膜の厚さは 1 0 0 nm 程度あれば、開口以外の領域で光は十分減衰される。この厚さは、光学的厚さに換算すると λ (1 波長) である。通常金属膜は、これだけの厚さがあれば 9 0 % 以上の反射率を示すので、共振器の反射鏡としても十分有効である。

【 0 1 1 1 】

しかしながら、第 1 及び第 2 実施形態のように端面発光型レーザの端面に金属膜を設ける場合には、p 型半導体層と n 型半導体層が短絡しないように、端面表面と金属膜との間に絶縁膜 3 4 を設ける必要がある。この絶縁膜 3 4 の厚さによっては、反射率が低減してしまう場合があるので、高反射率を確保できる厚さに設定する必要がある。

【 0 1 1 2 】

図 2 5 は、絶縁膜 3 4 の厚さ d に対して反射率 R がどのように変化するかを計算した例である。この計算では、金属 (Au) 膜の光学的厚さ (nd/λ) としてある。この図から明らかなように、反射率は周期的に高くなったり、低くなったりする。図から、以下の条件の近傍で高い反射率を示すことが分かる。

【 0 1 1 3 】

$$n d / \lambda = 0.2 + 0.5 m \quad (m \text{ は整数})$$

例えば、95%以上の反射率を得るには、次式の範囲に設定すれば良い。

【0114】

$$0.05 + 0.5 m \leq m d / \lambda \leq 0.35 + 0.5 m$$

保護膜としては薄膜でも十分であるから、次式の範囲に設定すれば良い。

【0115】

$$0.05 \leq n d / \lambda \leq 0.35$$

次に、第4実施形態において採用した集光手段39について補足する。

【0116】

第4実施形態において表した光学的集光手段39は、第1乃至第2実施形態において用いた端面発光型の発光素子においても設けることが可能である。

【0117】

図26は、端面発光型の発光素子において設けることができる光学的集光手段の一例を表した概念図である。すなわち、同図(a)はその要部平面透視図、同図(b)はそのA-A'線断面図、同図(c)は導波層端部のA-A'線に沿った抵抗率及び屈折率の分布を表すグラフ図である。

同図の発光素子700は、端面放射型レーザを基本とする。まず、同図(b)を参照しつつその断面構造について概説すると、図中30はサファイア基板であり、この基板30の上にGa_{0.9}N_{0.1}バッファ層711、n型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層712、n型Ga_{0.9}Al_{0.1}Nクラッド層713、n型Ga_{0.9}N_{0.1}導波層714、InGa_{0.9}N_{0.1}多重量子井戸(MQW)活性層33、p型Ga_{0.9}N_{0.1}導波層716、p型Ga_{0.9}Al_{0.1}Nクラッド層717、n型Ga_{0.9}Al_{0.1}N電流狭窄層718、p型Ga_{0.9}N_{0.1}コンタクト層719が形成されている。また720はp側電極、721はn側電極である。

【0118】

本実施形態においては、レーザ素子の片方の出射端面付近に光学的集光手段 39 が設けられている。集光手段 39 は、端面の付近の部分の p 型 GaN 導波層 716 の抵抗率を局所的に変化させた構造からなる。すなわち、図 26 (c) に示したように、ストライプ中央では抵抗率が高く、外側では抵抗率が低い構造となっている。これにより、ストライプ外側部分の活性層へのキャリア注入がストライプ中央部に比べて大きくなるため、プラズマ効果によって、図 26 (c) に示したように、ストライプ外側の実効的な屈折率が低くなる。したがって、この波面変換部は導波光に対してレンズ作用を有する。

【0119】

図 27 は、この集光手段 39 により導波光が屈折される様子を説明する平面図である。すなわち、集光手段 39 の内部での光の分布は、その屈折率と集光手段 39 の長さ L とにより、いくつかの種類に分類される。

【0120】

図 27 (a) に表した例においては、導波光の焦点距離よりも集光手段 39 の長さ L の方が長い。その結果として、図示したように、導波光は端面の外側において集束する。図 27 (b) に表した例においては、導波光の焦点距離と集光手段の長さ L とが同一である。その結果として、導波光はレーザの端面において集束する。図 27 (c) に示した例においては、集光手段の長さ L は、導波光の焦点距離の 2 倍である。その結果として、図示したように、レーザ端面からは平行な光が出射する。

【0121】

このように、本実施形態によれば、集光手段 39 の屈折率分布と長さ L とを適宜調節することにより、出射光の強度分布を制御することができ、比較的広いストライプ幅でも良好な出射波面が得られる。

【0122】

このような集光手段 39 は、例えば、電子ビーム照射によって作製することができる。すなわち、p 型 GaN 導波層 716 を成長した後、電子ビーム照射によって、ストライプ部のアクセプタを活性化させる、この際、電子ビームの照射量に分布をもたせ、端面近傍においては、ストライプ外側部分の電子線ドーズ量を

多くし、中央部の電子線ドーズ量を少なくする。これによって、外側が低抵抗、中央部が高抵抗となる構造が実現される。

【0123】

なお、この方法による場合は、電子線照射でストライプ部を形成するため、n型GaAlN電流狭窄層718は必ずしも必要ではない。すなわち、ストライプの外側に電子線照射を行わなければ、高抵抗であるため電流は流れず、電流狭窄を実現することができるからである。

【0124】

一方、集光手段39の形成方法としては、イオン注入を利用する方法もある。すなわち、p型GaN導波層716に対して、マグネシウム(Mg)などのp型不純物をドーズ量に分布をつけて注入し、必要に応じてアニール処理を施すことにより、図26(c)と同様の抵抗率の分布を有するp型GaN導波層716を形成することができる。

【0125】

あるいは、p型GaN導波層716の結晶成長に際して均一にp型の不純物をドーピングし、成長後に、水素(H)をドーズ量に分布をつけてイオン注入することによっても、図26(c)と同様の抵抗率の分布を有するp型GaN導波層716を形成することができる。これは、結晶成長時にドーピングされたマグネシウムなどのp型不純物が、水素のイオン注入によって不活性化される現象を利用したものである。

【0126】

さらに別の方法として、p型GaN導波層716に対して、マグネシウムなどのp型不純物とシリコンなどのn型不純物とを両方ドーピングし、そのいずれか、あるいは両方の不純物の濃度分布を制御する方法でも良い。つまり、p型不純物に対して、n型不純物のドーピング量を変化させることにより、アクセプタの補償量を制御して、図26(c)と同様の抵抗率の分布を有するp型GaN導波層716を形成することができる。

【0127】

また、この例ではp型GaN導波層716の抵抗率を変化させているが、活性

層 3 0 の抵抗率を変化させても良いことはいうまでもない。さらに、p 型 Ga A 1 N クラッド層 7 1 7 の抵抗率を同様に変化させても良く、または、導波層 7 1 6 とクラッド層 7 1 7 の両方で抵抗率を変化させても良い。

【0 1 2 8】

次に、本発明における T E モード光の分布について補足する。

【0 1 2 9】

前述したように光学的集光手段 3 9 を用いることによって、レーザ素子発光面から光開口へ効率的に光を集光させて光利用効率を向上することができる。ここで、トラックの長手方向にそった光の強度分布については、図 4 に表したように T E モード光の光分布に対応する。つまり、トラック長手方向に見て、開口の中央部で強度は最大となり、開口の端部においては強度はゼロに近くなる対称形の分布である。ところが、このような対称形の強度分布の場合には、記録磁極 4 0 を光開口 3 6 に近接配置させても光強度の最大の位置は記録磁極 4 0 から開口の長さの $1/2$ より近づけることはできない。

【0 1 3 0】

これに対して、光学的集光手段 3 9 の集光特性を非対称な特性に調節すれば、光強度が最大となる位置と記録磁極 3 9 とを接近させることが可能となる。

【0 1 3 1】

図 2 8 は、非対称な強度分布を有する放出光を形成した場合を例示する概念図である。すなわち、同図 (a) は、記録媒体の対向面から眺めた要部平面図であり、同図 (b) はそれに対応するトラック長手方向の光強度分布を表すグラフ図である。

【0 1 3 2】

図 2 8 (b) に表したように光強度分布のピークを記録磁極 4 0 の方向にシフトさせれば、記録磁極 4 0 に接近させて、光利用効率をさらに向上させることができる。つまり、同じ発振パワーでも、対称的な分布を有する場合と比べて記録磁極 4 0 の直下での媒体記録部をより高温に加熱し且つ急峻な温度分布を形成することができる。その結果として、熱アシスト磁気記録をより確実且つ容易に実

施することができるようになる。

【0133】

図28(b)に表したような非対称形の光分布は、例えば、図23に例示したような回折格子レンズの場合には、レンズを偏心させることにより形成することができる。また、図26に表したような集光手段39の場合には、比抵抗 ρ の分布を非対称となるように形成すれば良い。

【0134】

次に、本発明において用いることができる発光素子について補足する。

【0135】

本発明において用いることができる半導体レーザ素子は、特定の材料による素子には限定されず、InGaAsP系、GaAlAs系、InGaAlP系、InGaAlN系、InGaAlBN系、InGaAsSb系、CdZnMgSSe系等、様々な材料系を用いることができる。

【0136】

また、レーザの構造についても、図2、図19、図21に限定されるものではなく、適宜変更可能である。例えば、図29に示すように、基板として半導体の代わりに絶縁性のサファイア基板350を用いたものであってもよい。なお、図中351はn型Ga_{0.5}N層、352はn型Ga_{0.5}Al_{0.5}Nクラッド層、353はInGa_{0.5}NからなるMQW活性層、354はp型Ga_{0.5}Al_{0.5}Nクラッド層、355はp型Ga_{0.5}Nコンタクト層、356はリッジ層、357は絶縁膜、358は光吸収膜、359は開口を示している。この例の場合、基板350が絶縁体であることから、クラッド層351上にn型電極を形成することになる。

【0137】

以上、第1乃至第4実施形態に関して補足した。しかし、本発明は、上述した具体例に限定されるものではない。

【0138】

例えば、記録媒体の保磁力が記録磁界の大きさと等しくなる磁化固定点と記録

磁極との位置関係、あるいは発光素子の開口と記録磁極との位置関係などの詳細については、本発明らが出願した特願平 1 1 - 3 7 5 0 8 3 号の明細書及び図面において開示され、この開示内容を本願発明に適用することは同様に可能である。また、記録媒体として用いるものは、磁氣的な記録が可能なものであれば良く、いわゆる「面内記録」でも「垂直記録」でも可能であり、例えば、磁氣的記録層と軟磁性層とを有する「キーパードメディア」などの各種の記録媒体を用いることができる。

【0 1 3 9】

さらに、記録媒体は、いわゆるハードディスクには限定されず、その他フレキシブルディスクや磁気カードなどの磁氣的記録が可能なあらゆる媒体を用いることができる。

【0 1 4 0】

同様に、磁気記録装置に関しても、磁気記録のみを実施するものでも良く、記録・再生を実施するものでも良い。磁気ヘッドと媒体との位置関係についても、いわゆる「浮上走行型」でも「接触走行型」でも良い。さらに、記録媒体を磁気記録装置から取り外し可能とした、いわゆる「リムーバブル」の形式の磁気記録装置であっても良い。

【0 1 4 1】

その他、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々変形して実施することができる。

【0 1 4 2】

【発明の効果】

本発明によれば、高密度記録再生に必要な極めて微細な粒径からなる低ノイズの多粒子媒体に対して、室温付近で十分に高い熱擾乱耐性を付与出来ると共に、記録磁界印加部では光照射により媒体の磁化反転に必要な磁界を低減化する事により、実用的な記録ヘッドで高速記録を実現する事が可能となる。又、発光素子、記録再生素子一体化により、小型軽量の熱アシスト磁気記録ヘッドが提供出来るので、高速シーク動作が可能になると共に低価格に熱アシスト磁気記録ヘッドと装置を構成することができる。

【 0 1 4 3 】

より詳細には、本発明によれば発光素子に設けた微細な光開口部から記録媒体にしみ出す光の利用効率を大幅に高めることができるので、より微細な媒体記録部を加熱昇温せしむることができるので、より高密度の熱アシスト磁気記録装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施形態に係わる熱アシスト磁気記録装置の概略構成を示す図であり、同図 (a) は記録再生ヘッド部を媒体面側から見込んだ平面図であり、同図 (b) は媒体を含めたトラック方向の A - A' 線断面図である。

【図 2】

(a) は、図 1 に示す発光素子部の概略構成を説明するための斜視図であり、(b) は、このレーザの断面構造の一例を表す概念図である。

【図 3】

(a) (b) は、金属導波路中の導波モードを計算した結果を表すグラフ図である。

【図 4】

(a) は、スリット形状と各方向の光強度分布を表す説明図である。また、(b) は、この光強度分布を 3 次元的に表したグラフ図である。

【図 5】

記録媒体に形成される磁化遷移を表した概念図であり、同図 (a) は通常の光ビームにより加熱する記録方式による場合、同図 (b) は本発明の熱アシスト磁気記録による場合をそれぞれ表す。

【図 6】

A g における導波モードの解析例を表すグラフ図である。

【図 7】

A u 導波路における導波モード損失のスリット幅 W に対する依存性を計算した例を表すグラフ図である。

【図 8】

A g を光吸収膜として用いた場合の T E モード、T M モードそれぞれに対する損失を計算した結果を例示するグラフ図である。

【図 9】

C u を光吸収膜として用いた場合の T E モード、T M モードそれぞれに対する損失を計算した結果を例示するグラフ図である。

【図 1 0】

A l を光吸収膜として用いた場合の T E モード、T M モードそれぞれに対する損失を計算した結果を例示するグラフ図である。

【図 1 1】

P t を光吸収膜として用いた場合の T E モード、T M モードそれぞれに対する損失を計算した結果を例示するグラフ図である。

【図 1 2】

T i を光吸収膜として用いた場合の T E モード、T M モードそれぞれに対する損失を計算した結果を例示するグラフ図である。

【図 1 3】

スリットから空気中に出た後の光強度分布を示したグラフ図である。

【図 1 4】

図 3 に例示した A u のスリットに対して、光源波長が 4 0 0 n m の場合の導波モードの様子を表すグラフ図である。

【図 1 5】

T M モードは金属中で大きく減衰し、損失が小さくなる様子を表すグラフ図である。

【図 1 6】

金の場合の各モードの損失を定量的に表したグラフ図である。

【図 1 7】

アルミニウムの場合の各モードの損失を定量的に表したグラフ図である。

【図 1 8】

本発明の第 2 の実施形態の熱アシスト磁気記録装置の概略構成を表す断面図である。

【図 1 9】

第 2 実施形態において用いる発光素子の構成を表す斜視概念図である。

【図 2 0】

本発明の第 3 の実施形態の熱アシスト磁気記録装置の概略構成を表す概念図である。

【図 2 1】

第 3 実施形態において用いる発光素子の構成を表す斜視概念図である。

【図 2 2】

本発明の第 4 の実施形態にかかる熱アシスト磁気記録装置の概略構成を表す断面図である。

【図 2 3】

回折格子レンズを概念的に表した要部概念であり、同図 (a) は要部断面図、同図 (b) はその平面構成図である。

【図 2 4】

本発明の熱アシスト磁気記録装置を例示するブロック図である。

【図 2 5】

絶縁膜 3 4 の厚さ d に対して反射率 R がどのように変化するかを計算した例である。

【図 2 6】

端面発光型の発光素子において設けることができる光学的集光手段の一例を表した概念図であり、同図 (a) はその要部平面透視図、同図 (b) はその A - A' 線断面図、同図 (c) は導波層端部の A - A' 線に沿った抵抗率及び屈折率の分布を表すグラフ図である。

【図 2 7】

集光手段 3 9 により導波光が屈折される様子を説明する平面図である。

【図 2 8】

非対称な強度分布を有する放出光を形成した場合を例示する概念図であり、同図 (a) は、記録媒体の対向面から眺めた要部平面図であり、同図 (b) はそれに対応するトラック長手方向の光強度分布を表すグラフ図である。

【図 2 9】

基板として半導体の代わりに絶縁性のサファイア基板 3 5 0 を用いた発光素子を表す概念図である。

【符号の説明】

- 2 0 磁気記録層
- 2 1 軟磁性下地層
- 3 0 基板
- 3 3 活性層
- 3 4 絶縁膜
- 3 5 光吸収膜
- 3 6 開口
- 3 9 光学的集光手段
- 4 0 記録磁極
- 4 1 リターンパス用磁極
- 4 2、4 3 コイル
- 4 4 絶縁層
- 5 0 再生素子部
- 5 2 シールド
- 5 3 再生ギャップ
- 6 0 ヘッド基板
- 7 0 媒体の走行方向
- 8 0 保護膜
- I o 発光素子駆動入力
- I s 信号入力
- O s 信号出力
- 2 0 1 電子放出源駆動回路系
- 2 0 2 電子放出素子
- 2 0 3 E C C (誤り訂正コード) 附加回路系
- 2 0 4 変調回路系

2 0 5 記録補正回路系

2 0 6 記録素子部

2 0 7 媒体

2 0 8 再生素子部

2 0 9 等価回路系

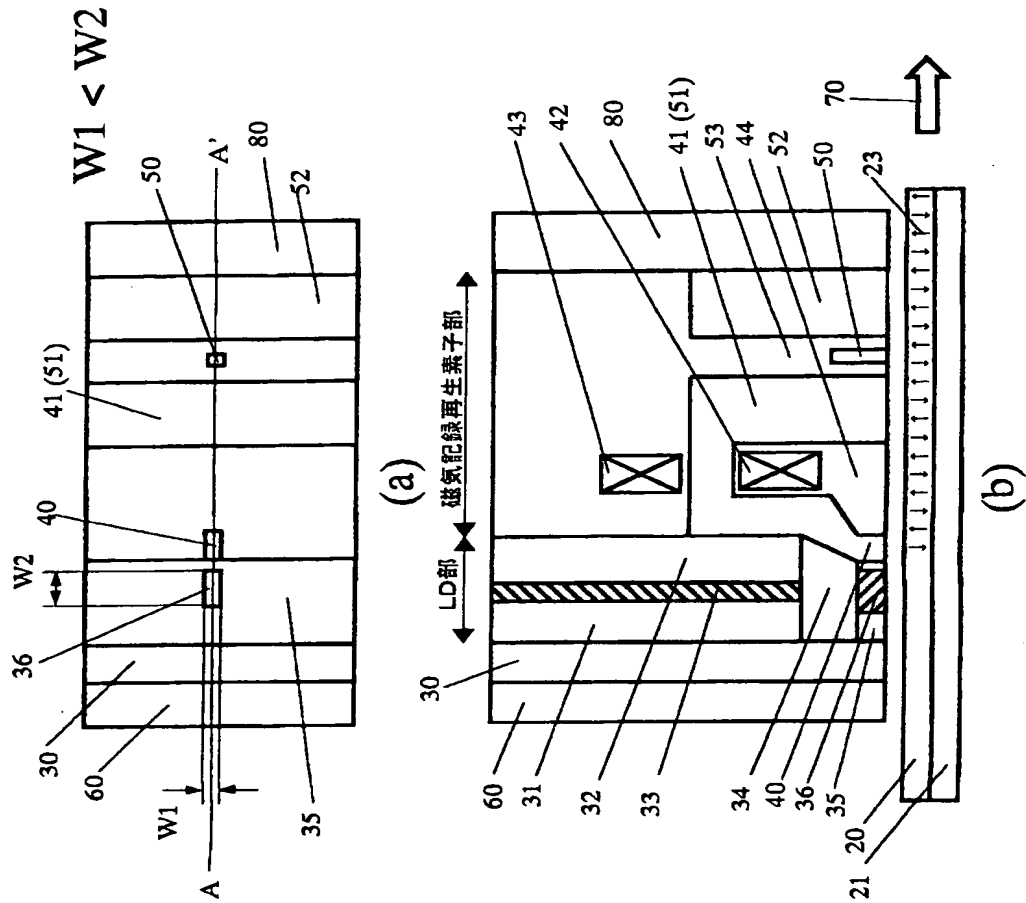
2 1 0 復号回路系

2 1 1 復調回路系

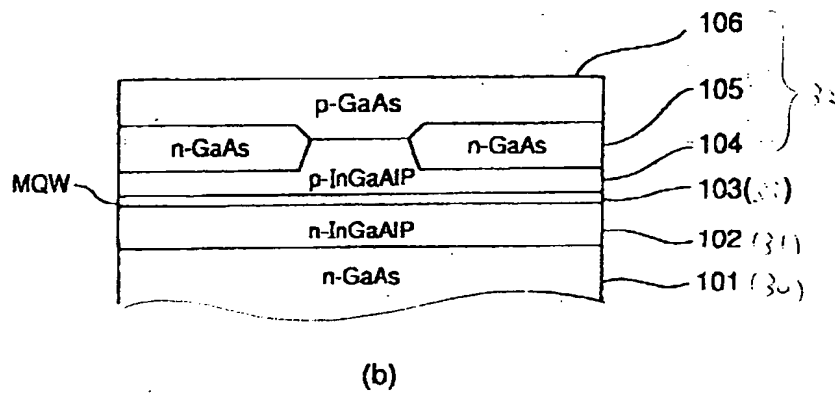
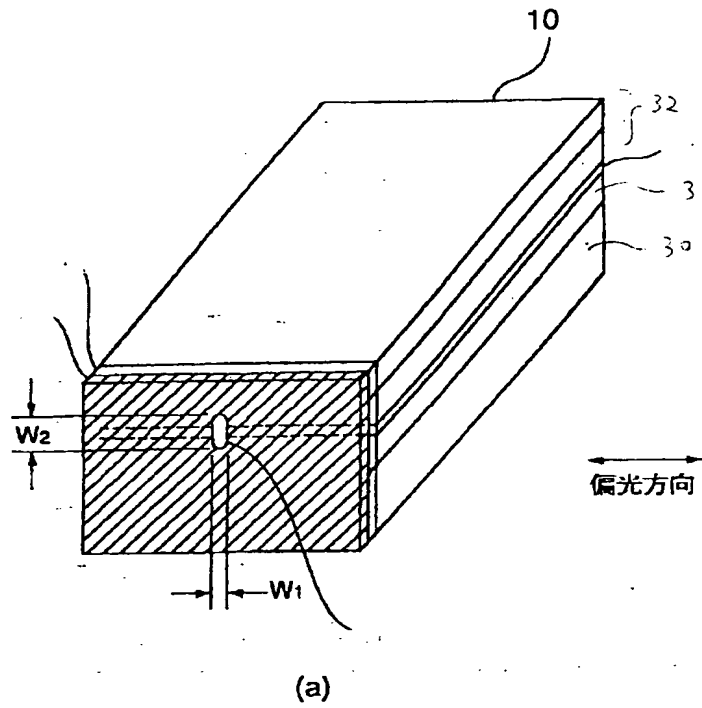
2 1 2 E C C 回路系

【書類名】 図面

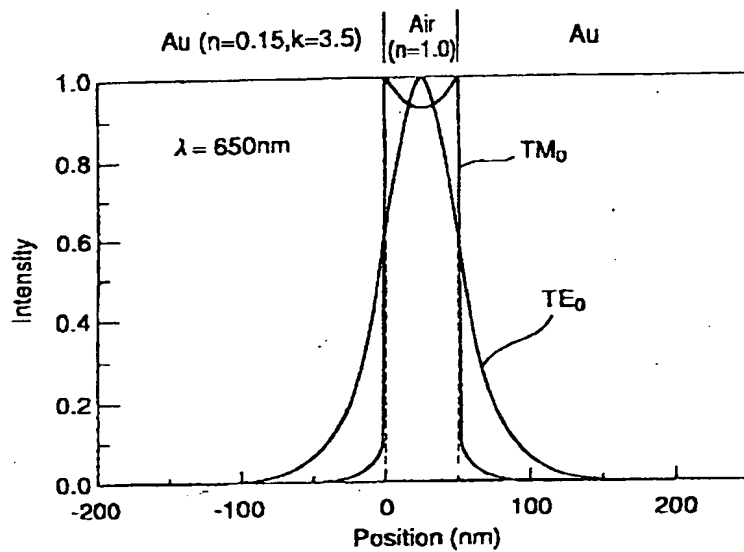
【図 1】



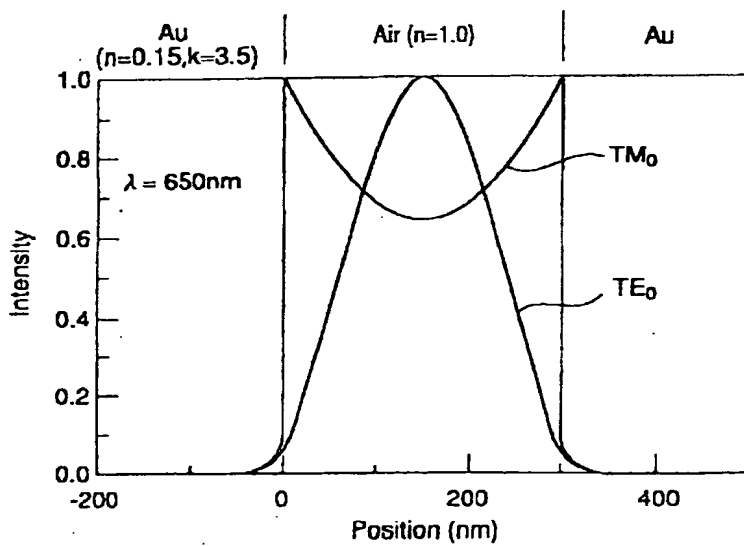
【図 2】



【図 3】

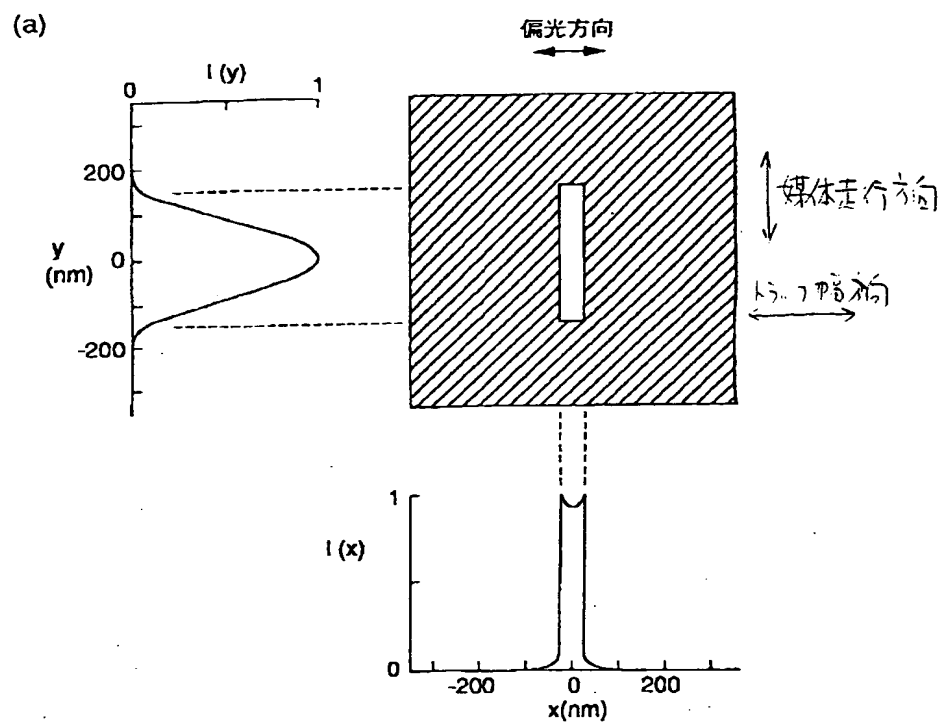


(a)

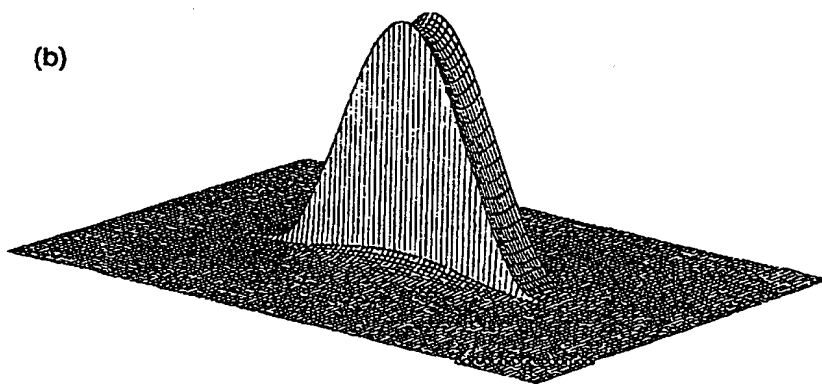


(b)

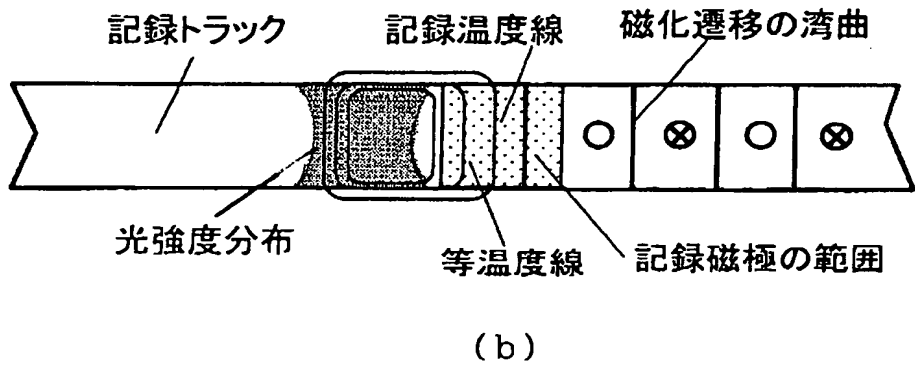
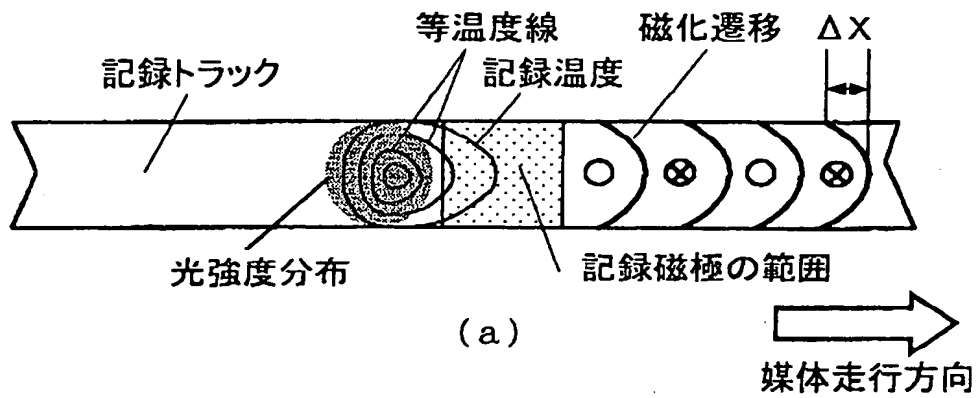
【图 4】



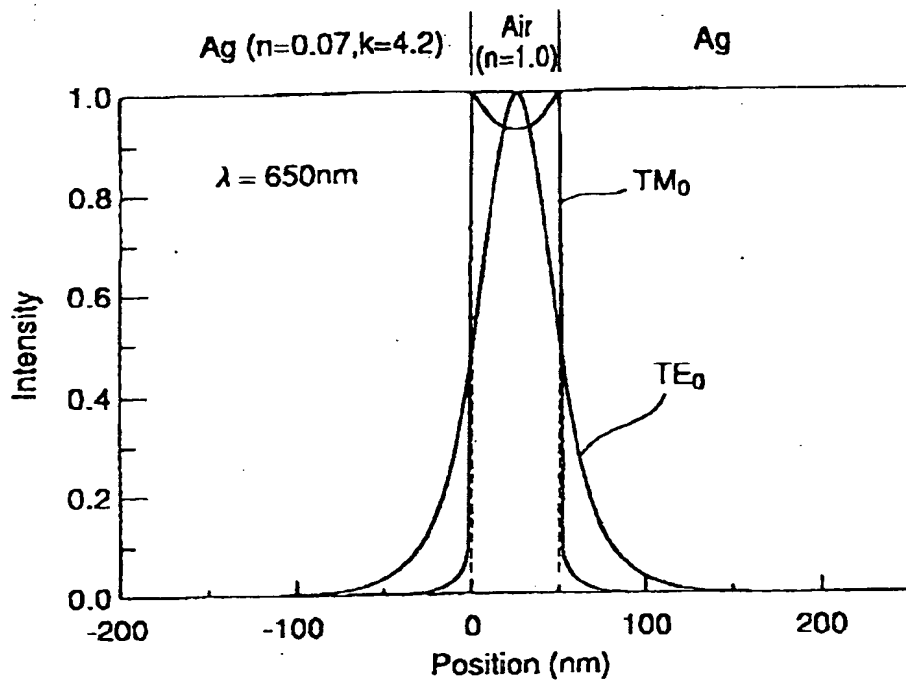
(b)



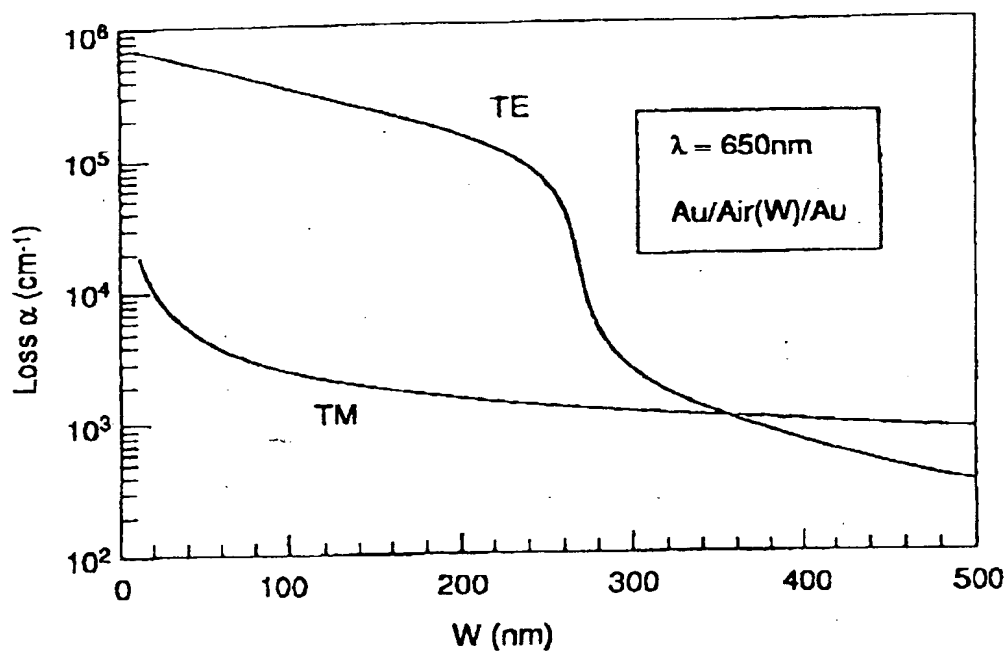
【図 5】



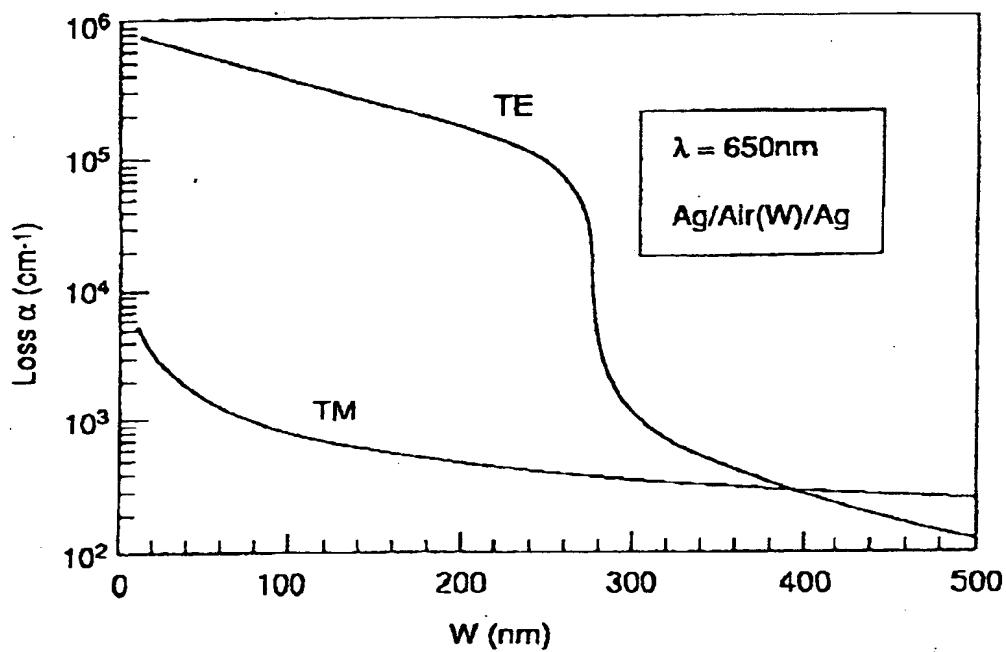
【図 6】



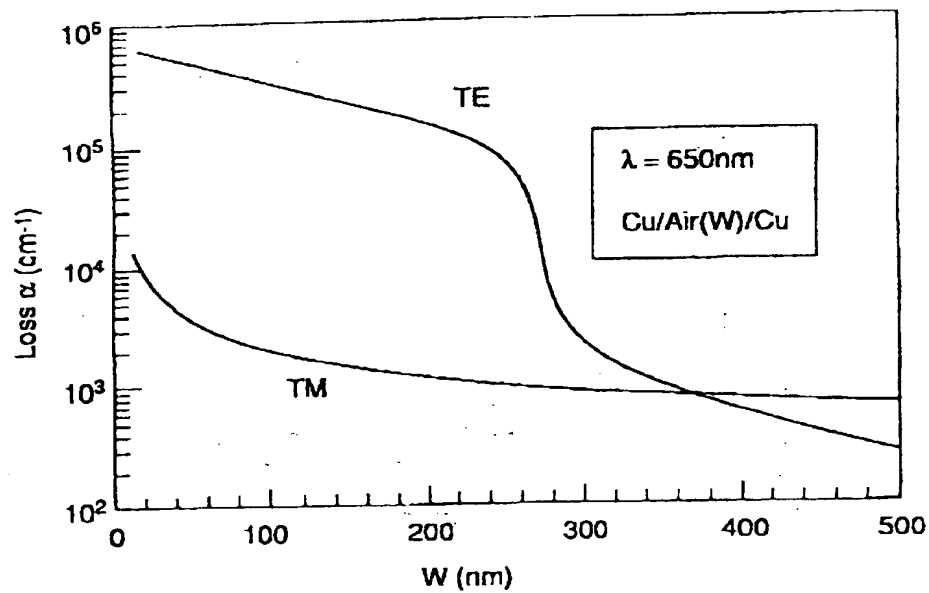
【図 7】



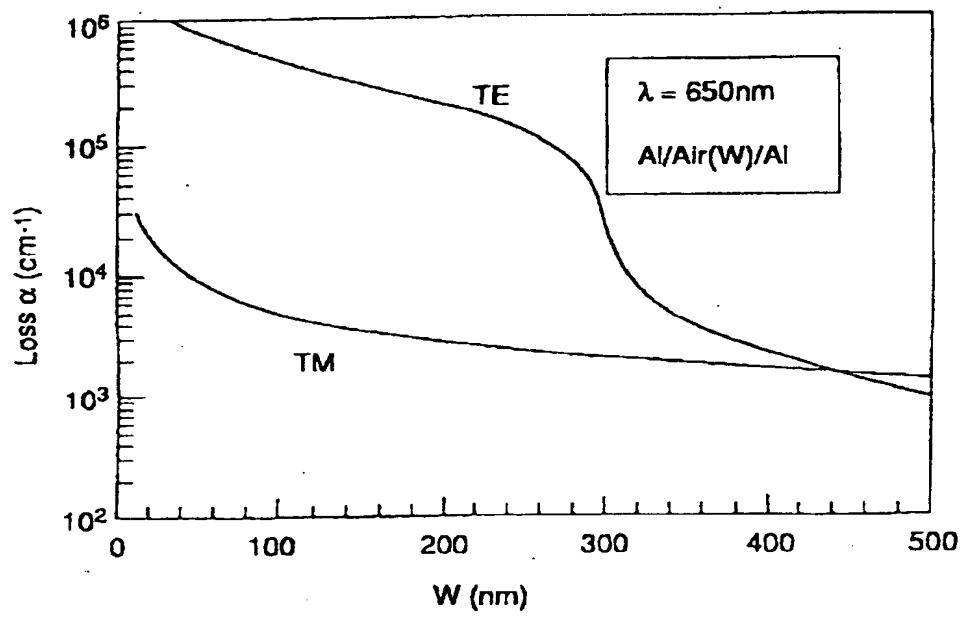
【図 8】



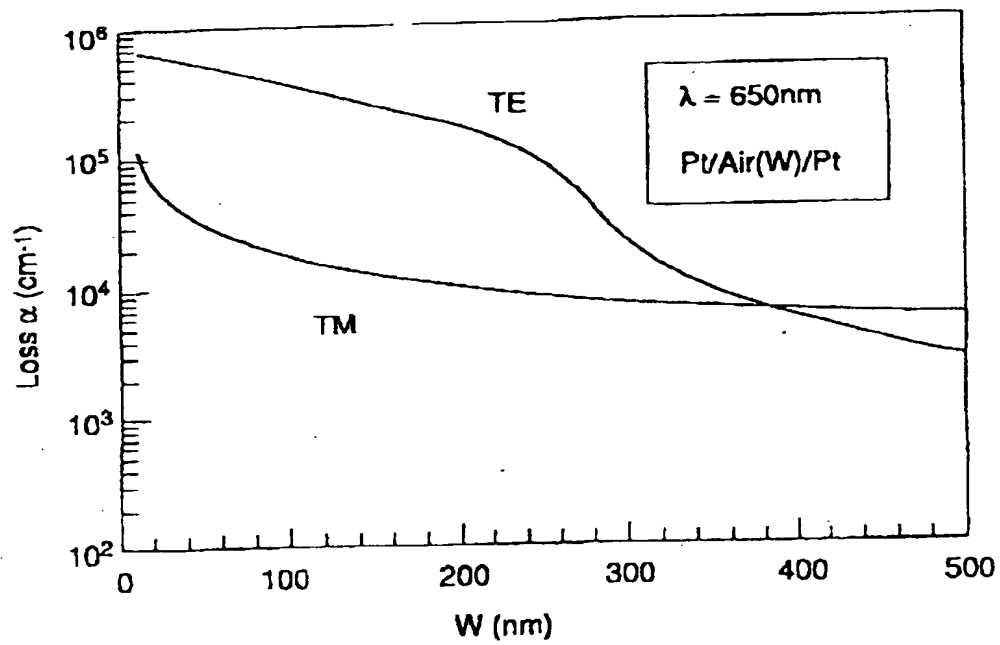
【図 9】



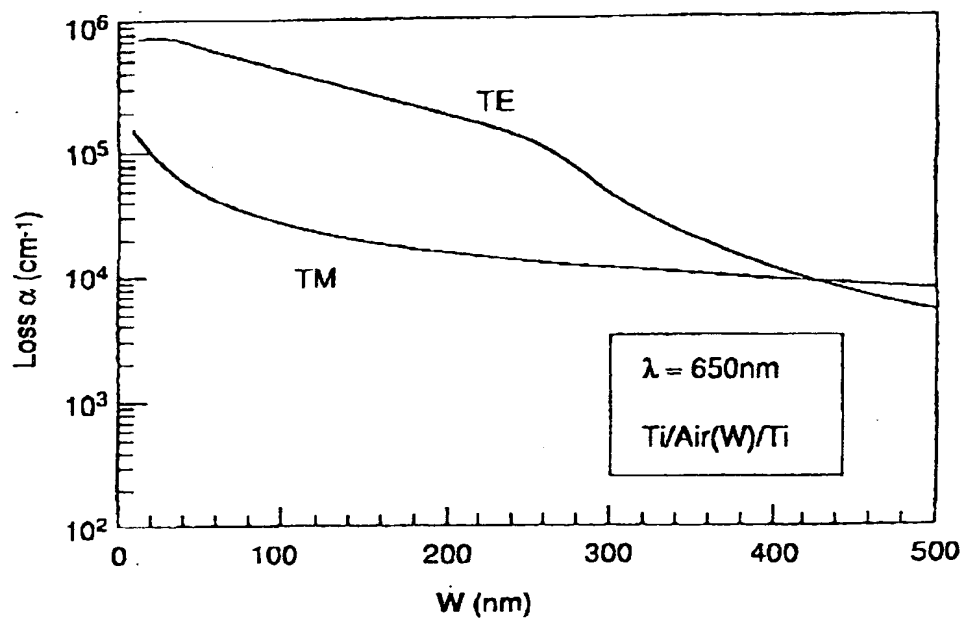
【図 10】



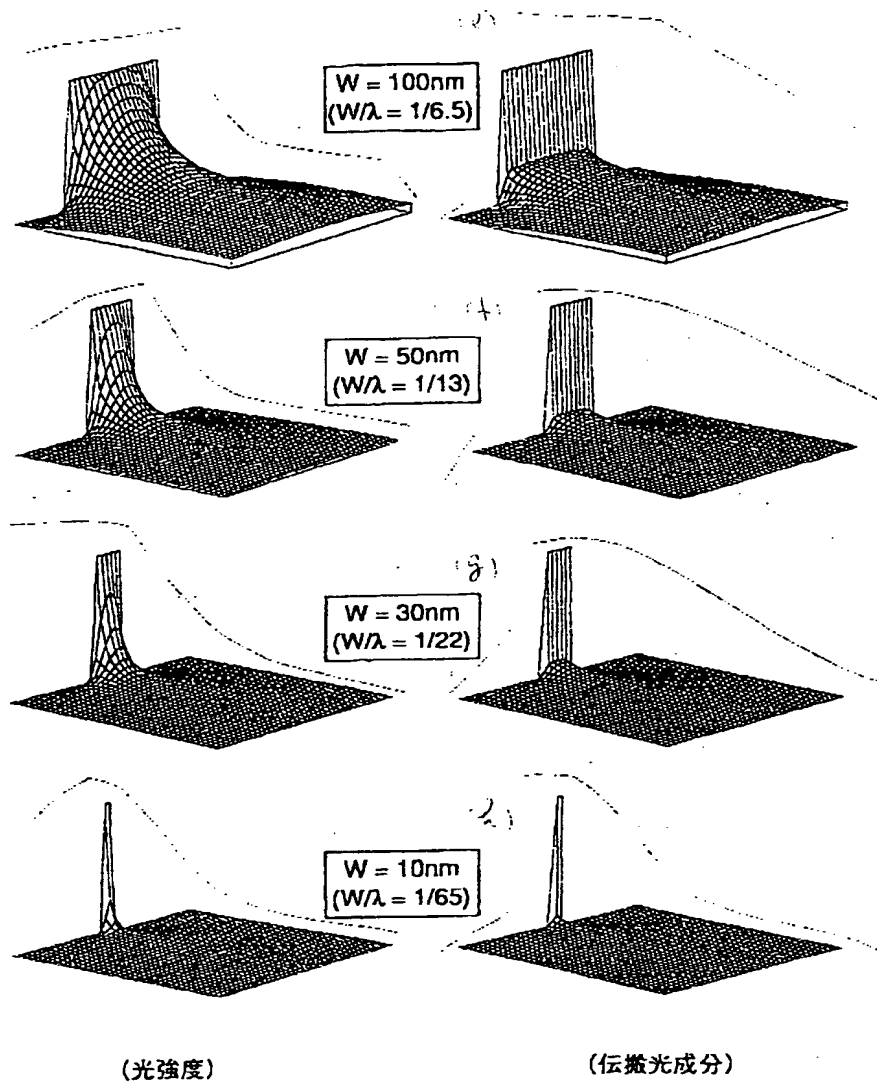
【図 11】



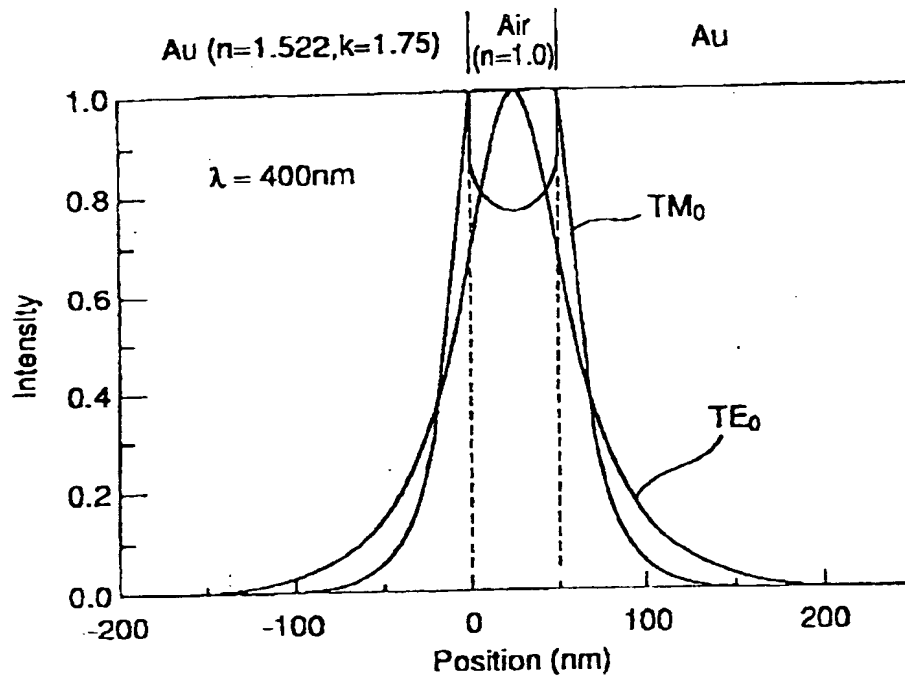
【図 12】



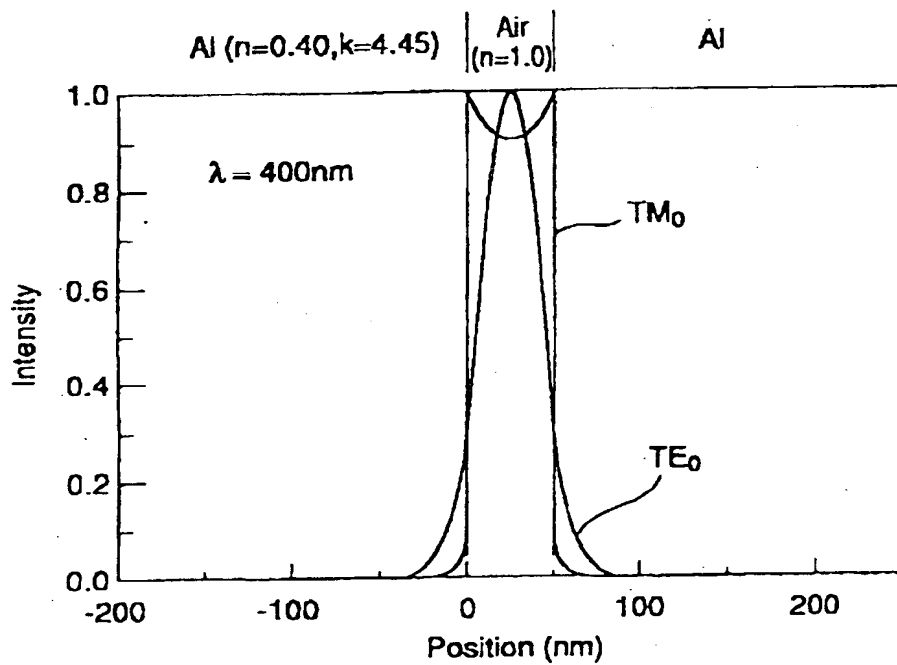
【図 13】



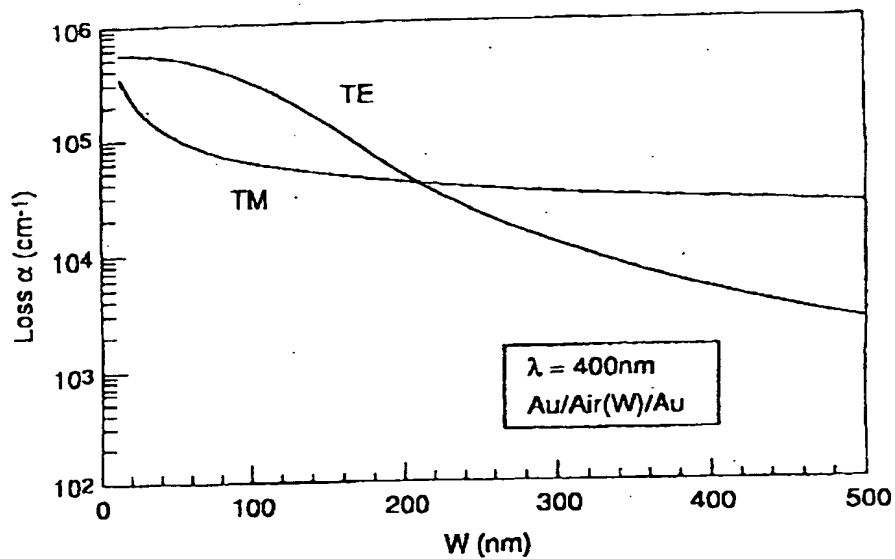
【図 1 4】



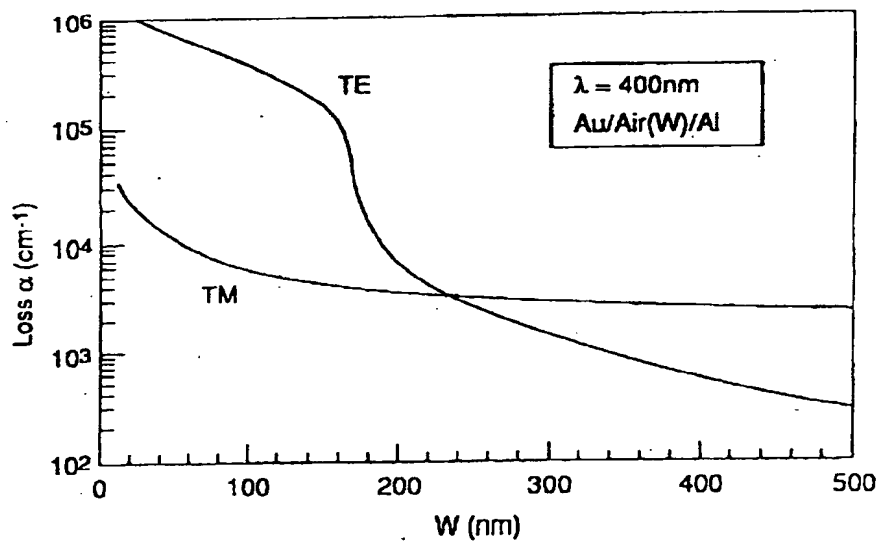
【図 1 5】



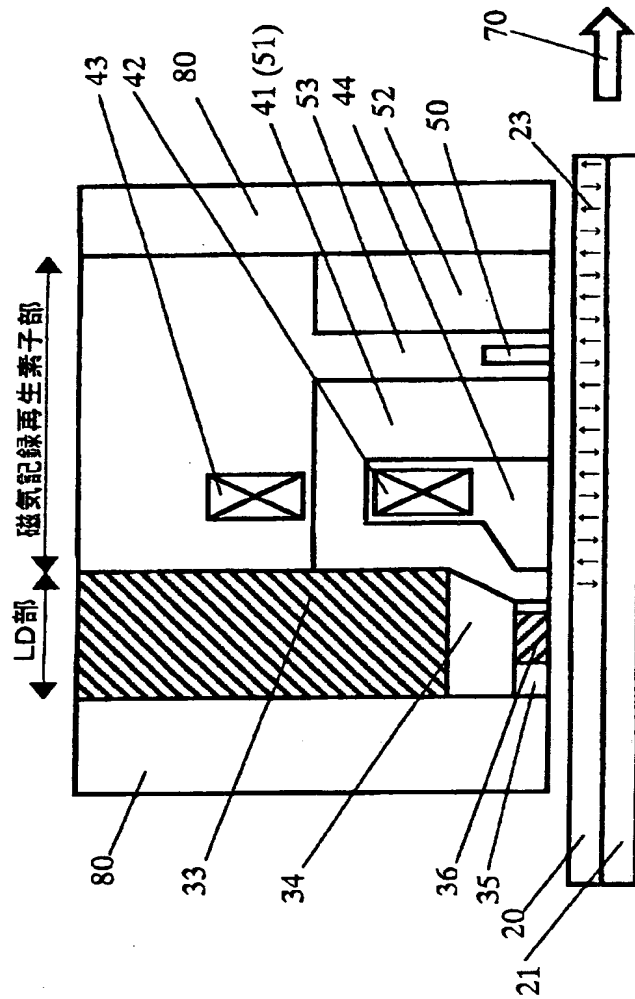
【図 16】



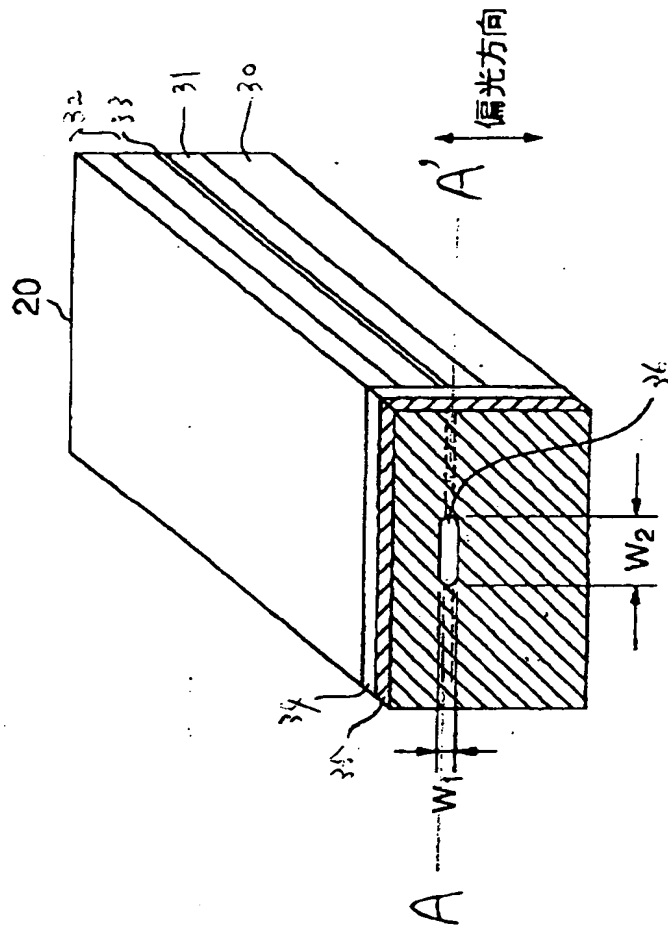
【図 17】



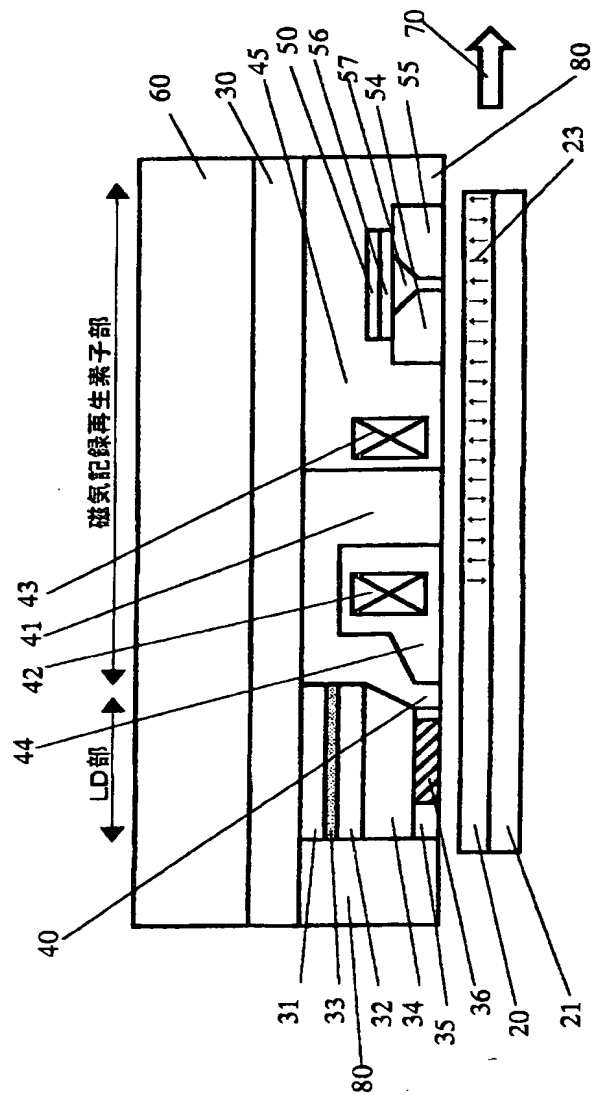
【図 18】



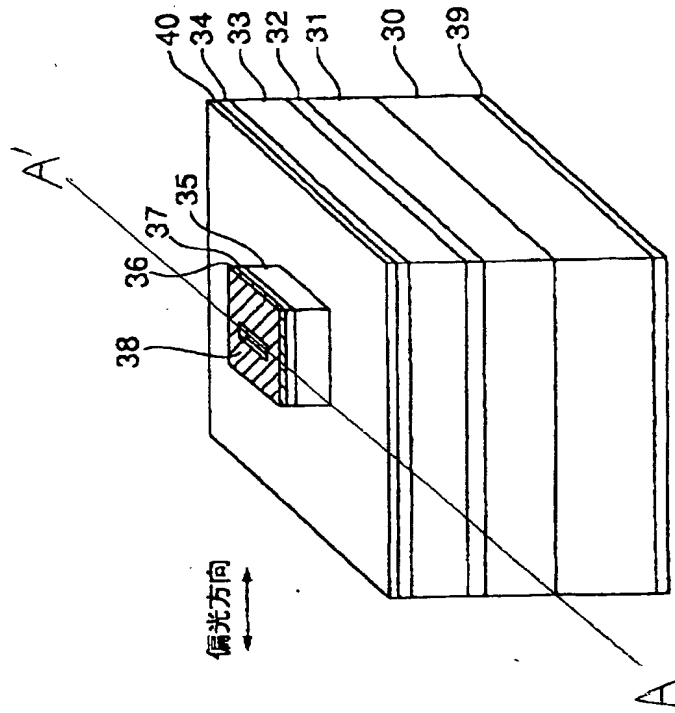
【図 19】



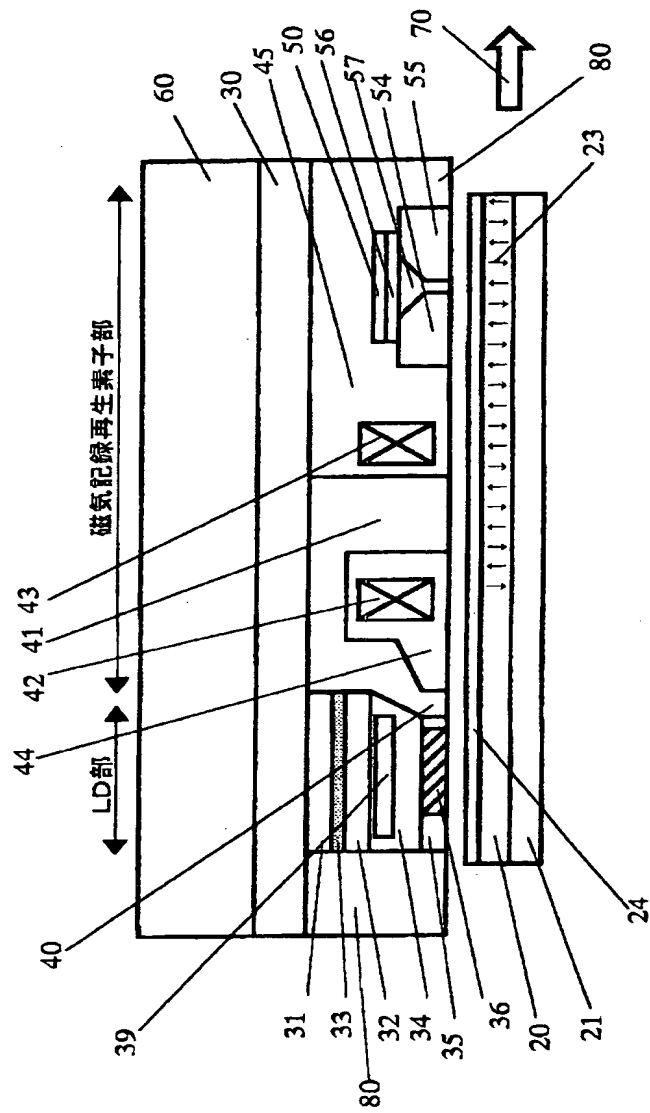
【図 20】



【図 2 1】

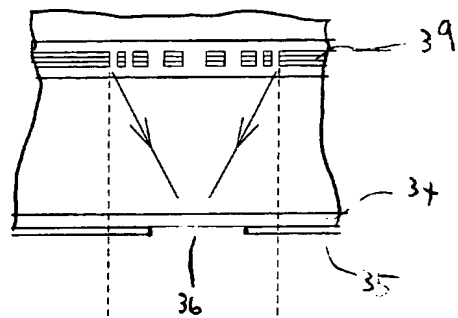


【図 22】

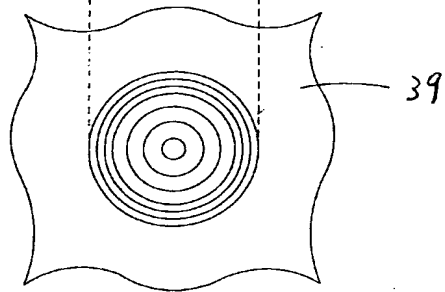


【図 2 3】

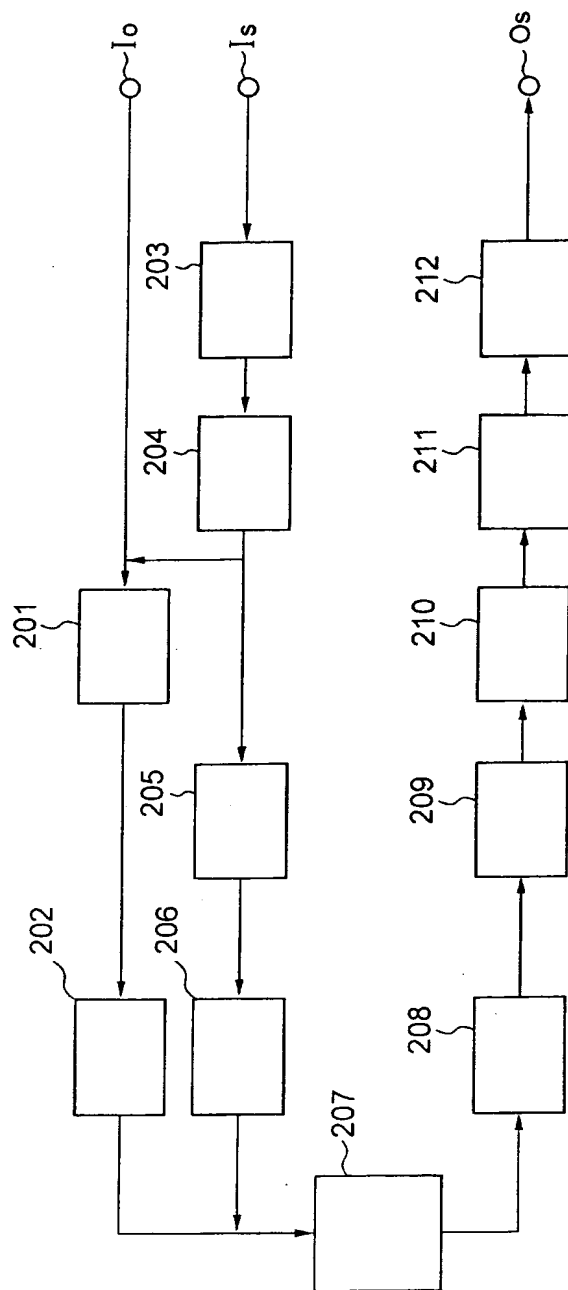
(a)



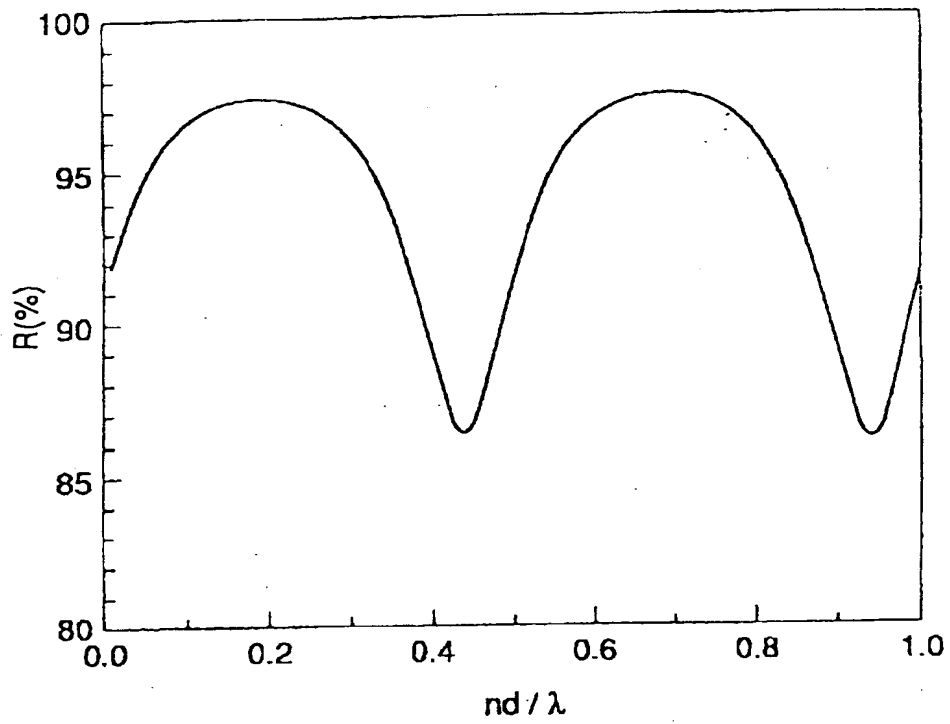
(b)



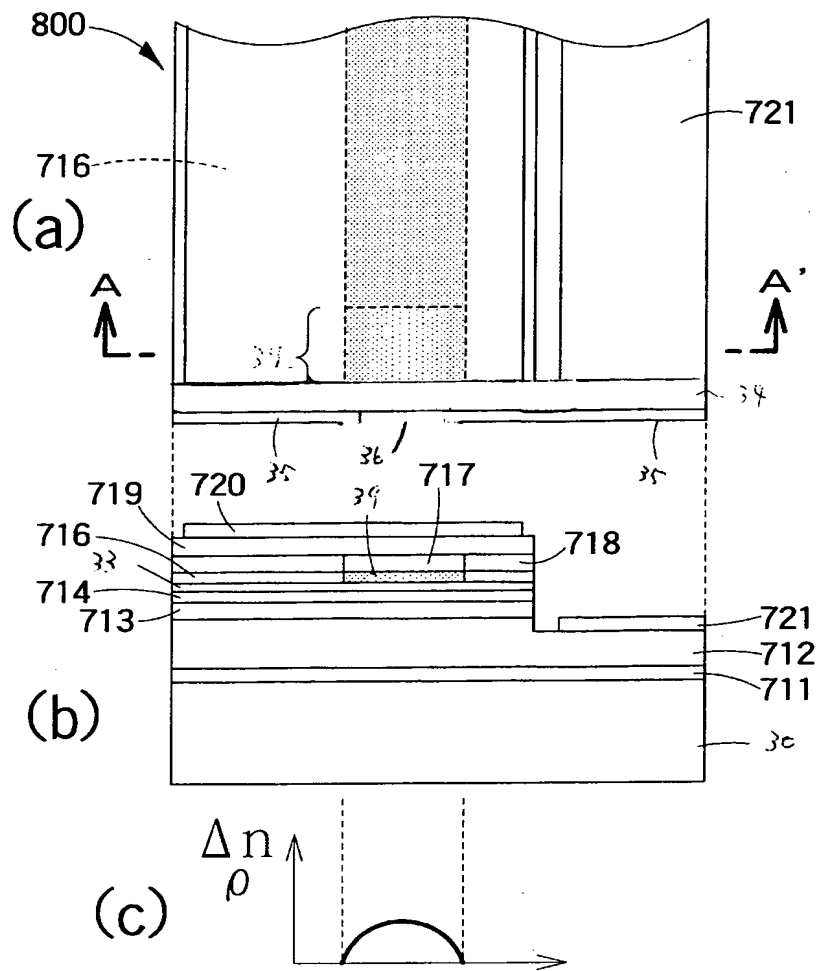
【図 2 4】



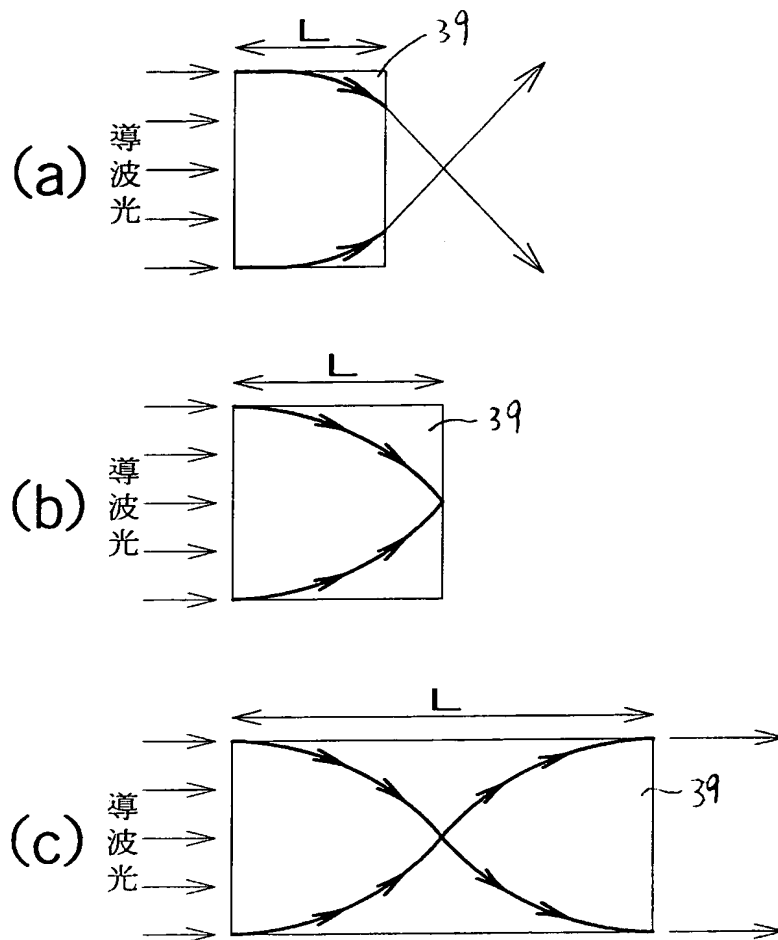
【図 25】



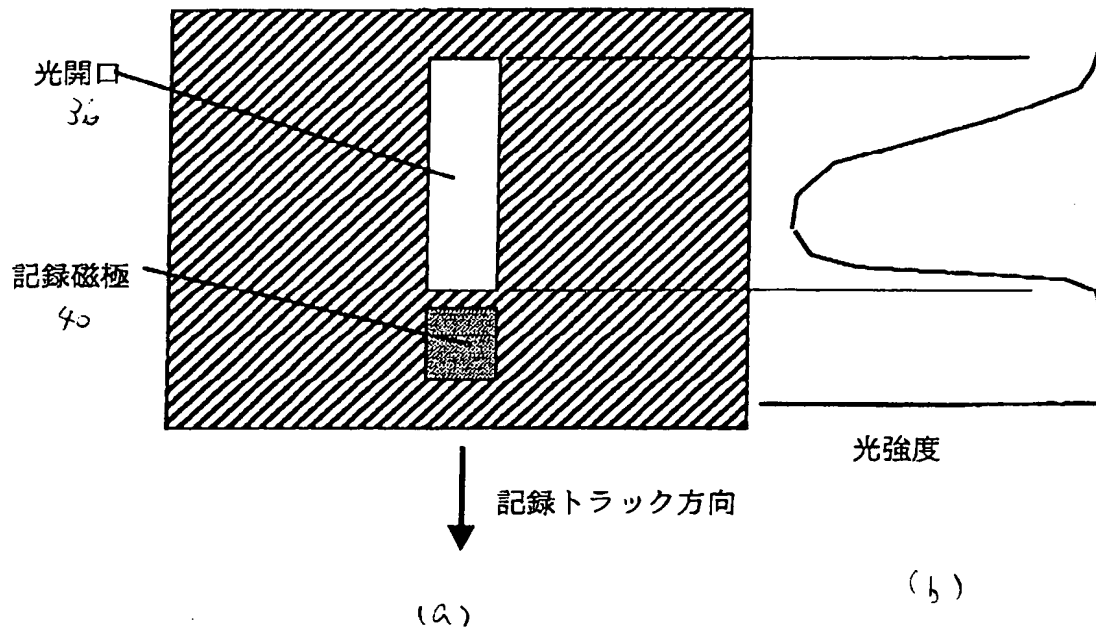
【図 2 6】



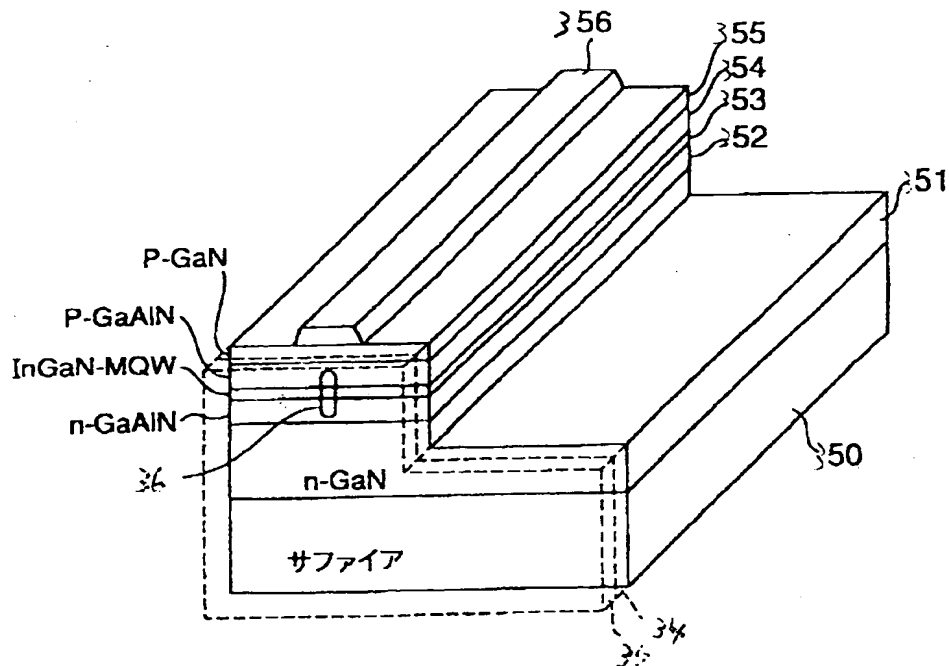
【図 27】



【図 28】



【図 29】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 熱アシスト手段として光利用効率の高い微細光照射開口を備え、高速、高密度記録を可能とする熱アシスト磁気記録装置を提供する。

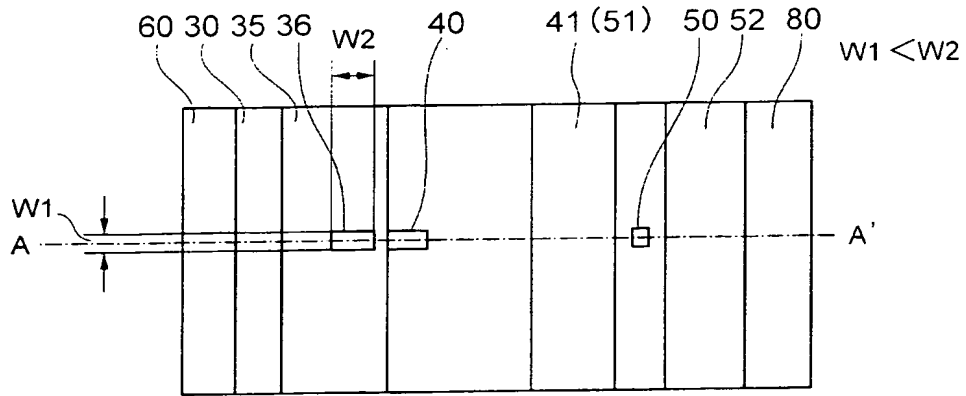
【解決手段】 記録媒体を加熱昇温して記録部の保磁力を低下させ、この保磁力が低下した記録部に記録磁界を印加することにより磁気的情報を記録可能とした熱アシスト磁気記録ヘッドであって、開口を有する光吸収膜と、前記開口を介して前記記録媒体に光を照射することにより前記加熱昇温するレーザ素子と、前記記録部に前記記録磁界を印加する記録磁極と、を備え、前記開口は、前記レーザ素子から放出される光の偏光方向に沿った開口幅 $W1$ が偏光方向に対して略垂直な方向の開口幅 $W2$ よりも短いことを特徴とする熱アシスト磁気記録ヘッド及びこれを搭載した磁気記録装置を提供する。

【選択図】 図 1

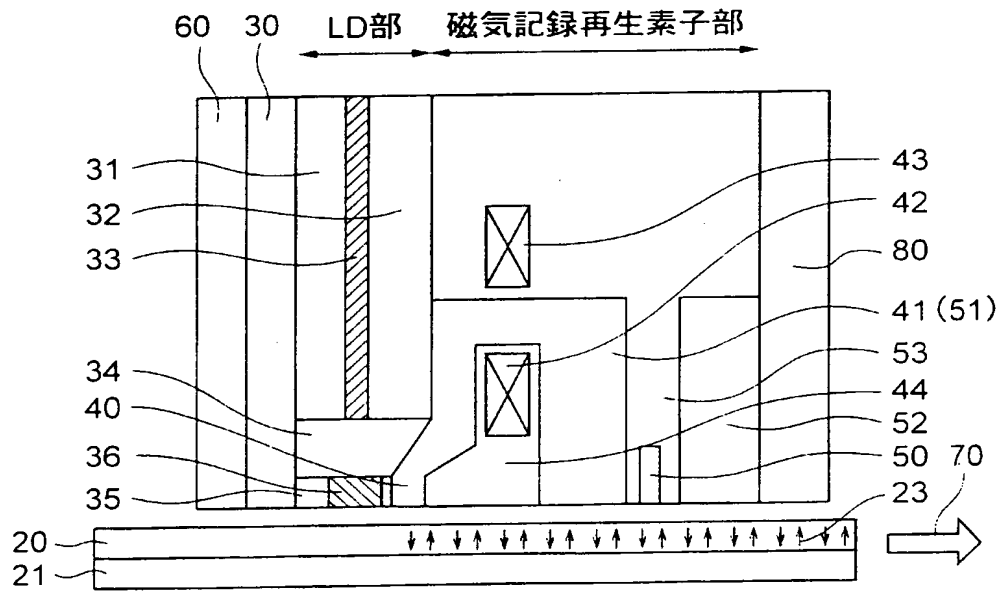
【書類名】 手続補正書
 【整理番号】 12383988
 【提出日】 平成12年 2月15日
 【あて先】 特許庁長官殿
 【事件の表示】
 【出願番号】 特願2000- 22884
 【補正をする者】
 【識別番号】 000003078
 【氏名又は名称】 株式会社 東 芝
 【代理人】
 【識別番号】 100064285
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 佐 藤 一 雄
 【手続補正 1】
 【補正対象書類名】 図面
 【補正対象項目名】 全図
 【補正方法】 変更
 【補正の内容】 1
 【プルーフの要否】 要

【書類名】 図面

【図 1】

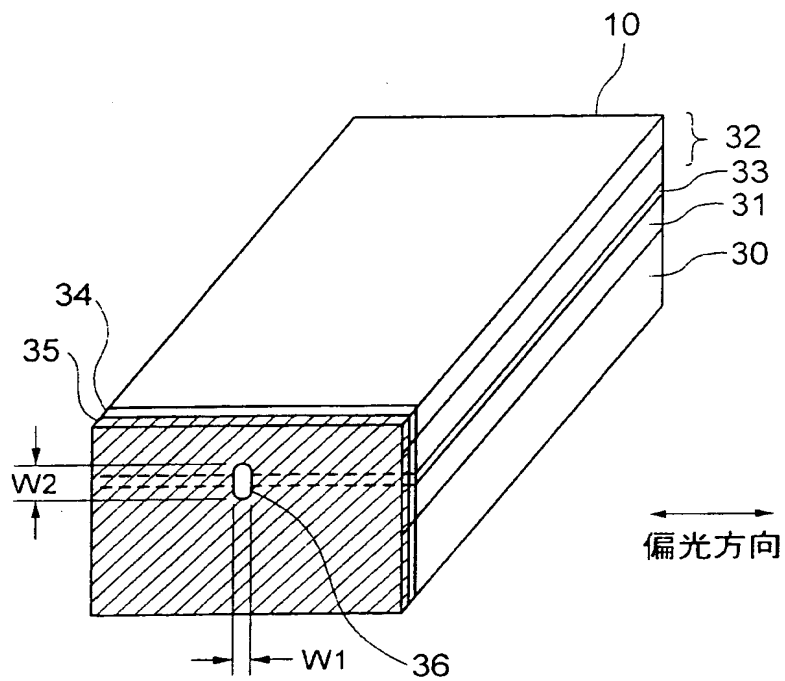


(a)

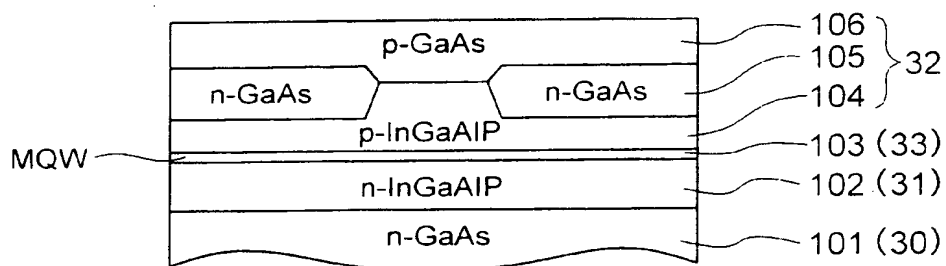


(b)

【図 2】

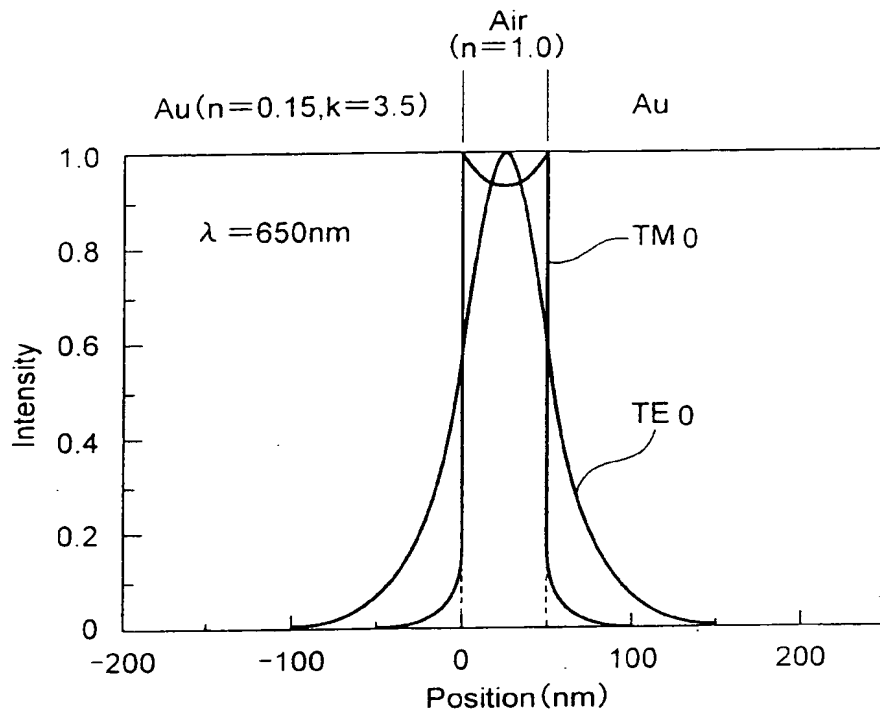


(a)

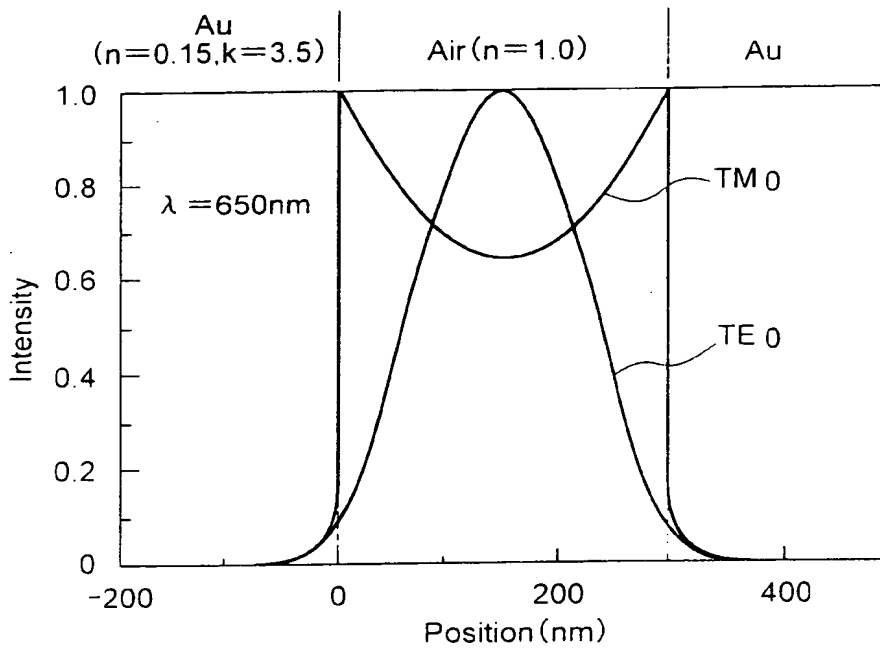


(b)

【図 3】

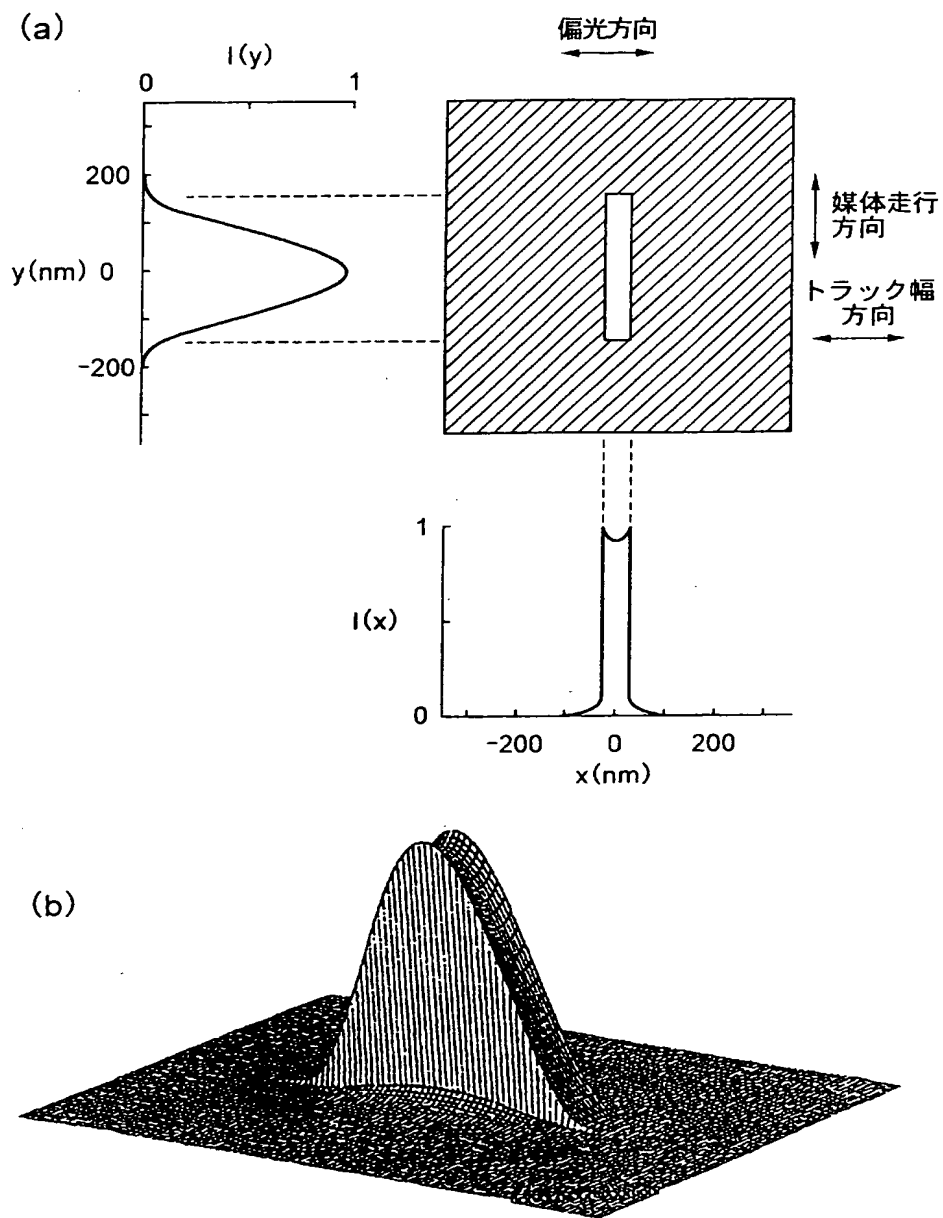


(a)

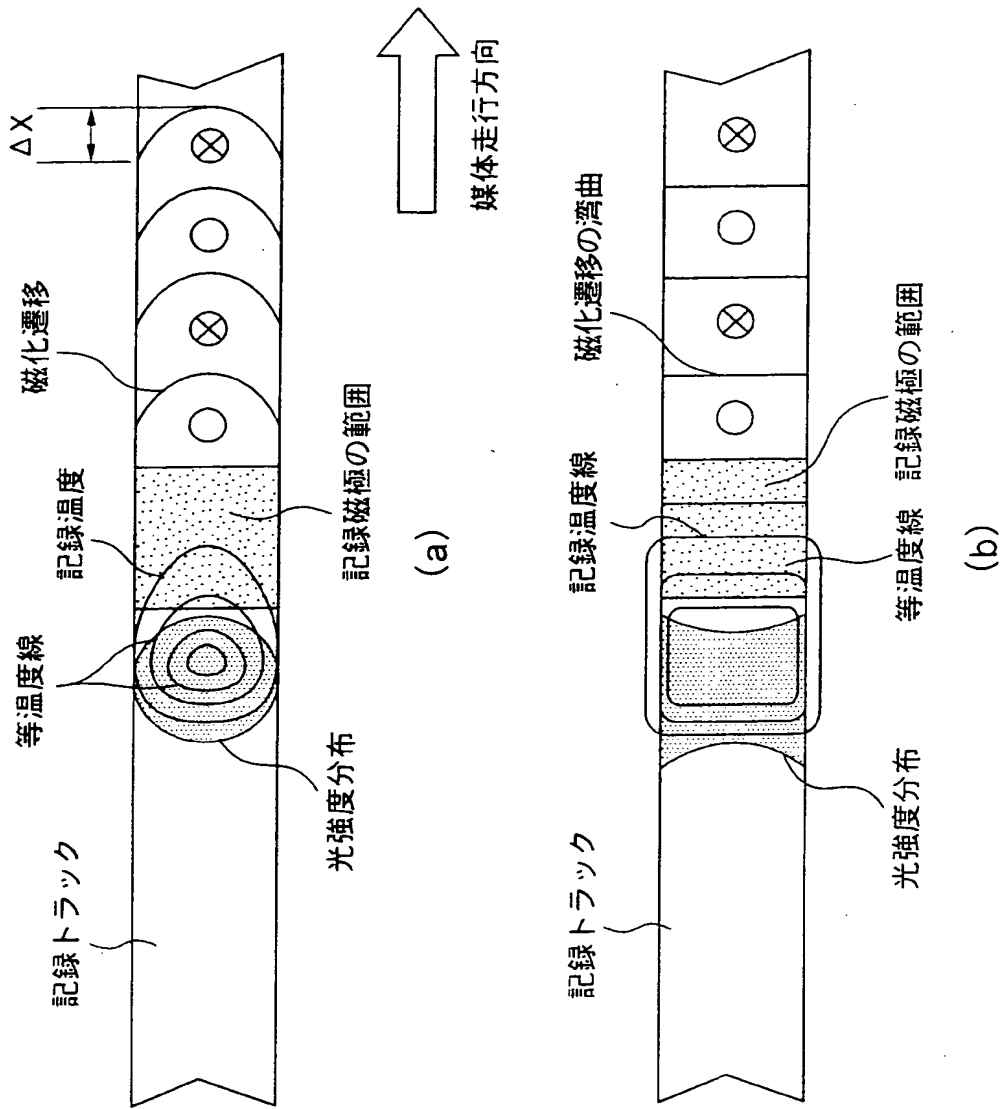


(b)

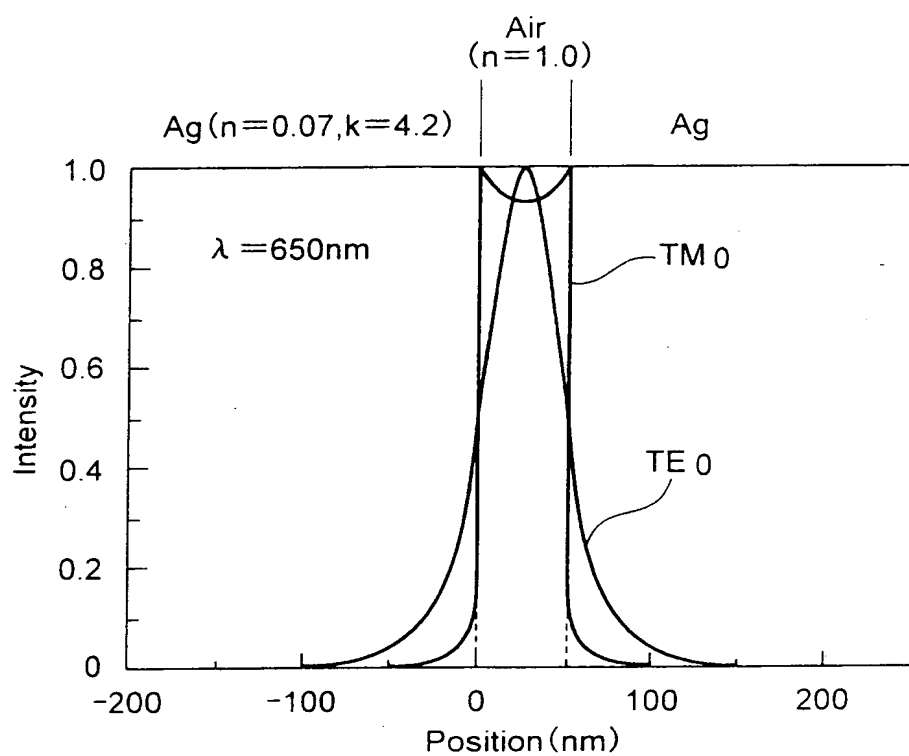
【図 4】



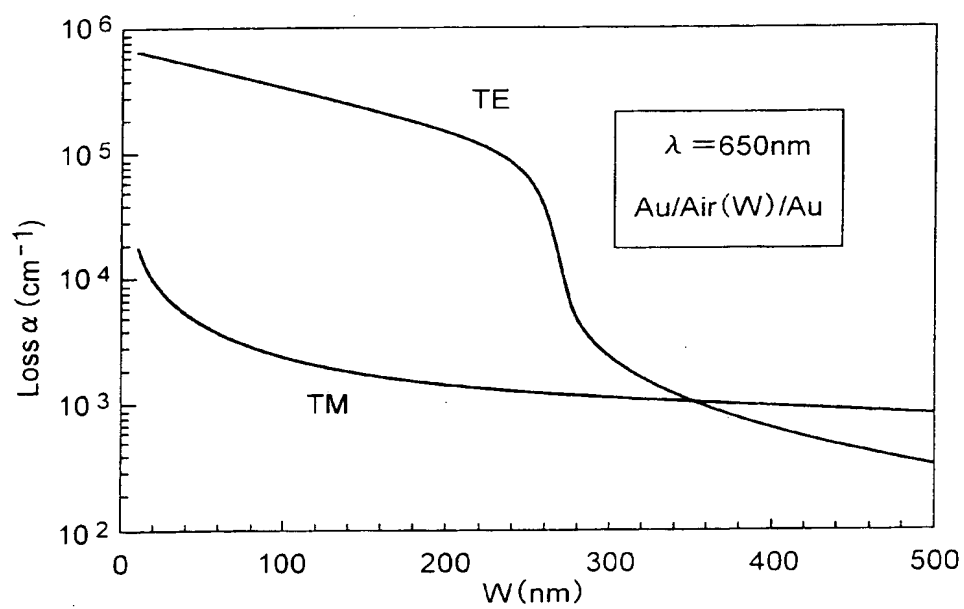
【図 5】



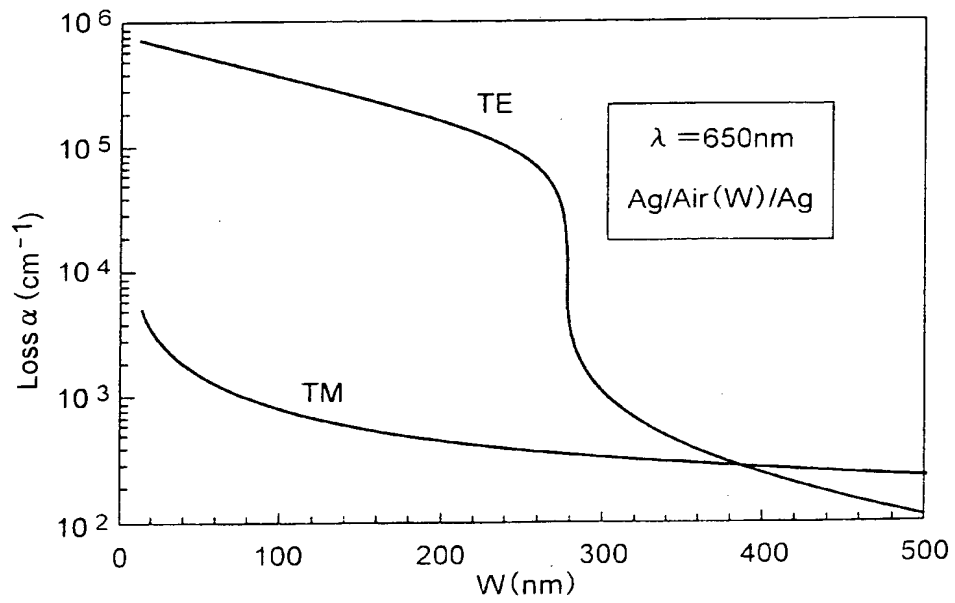
【図 6】



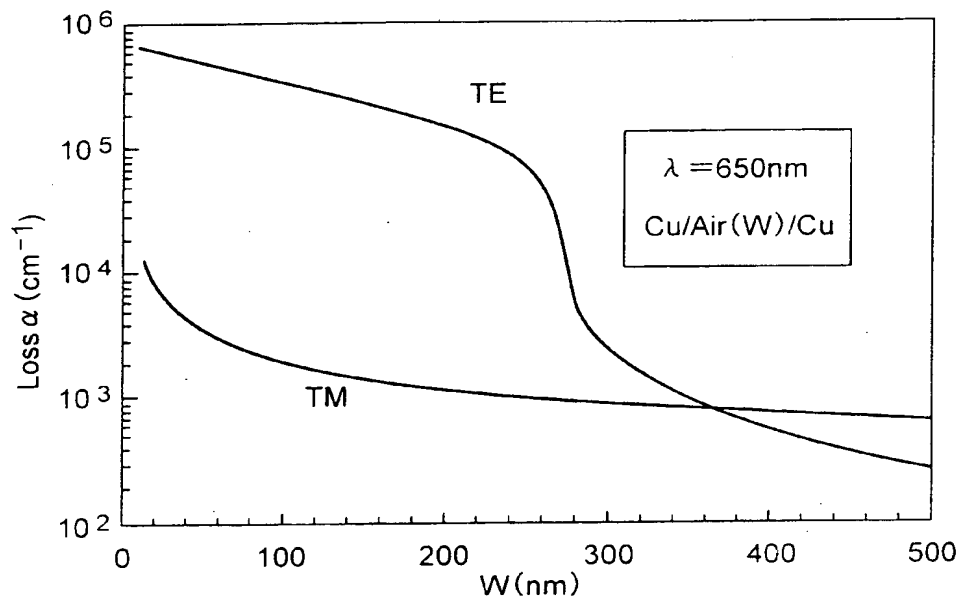
【図 7】



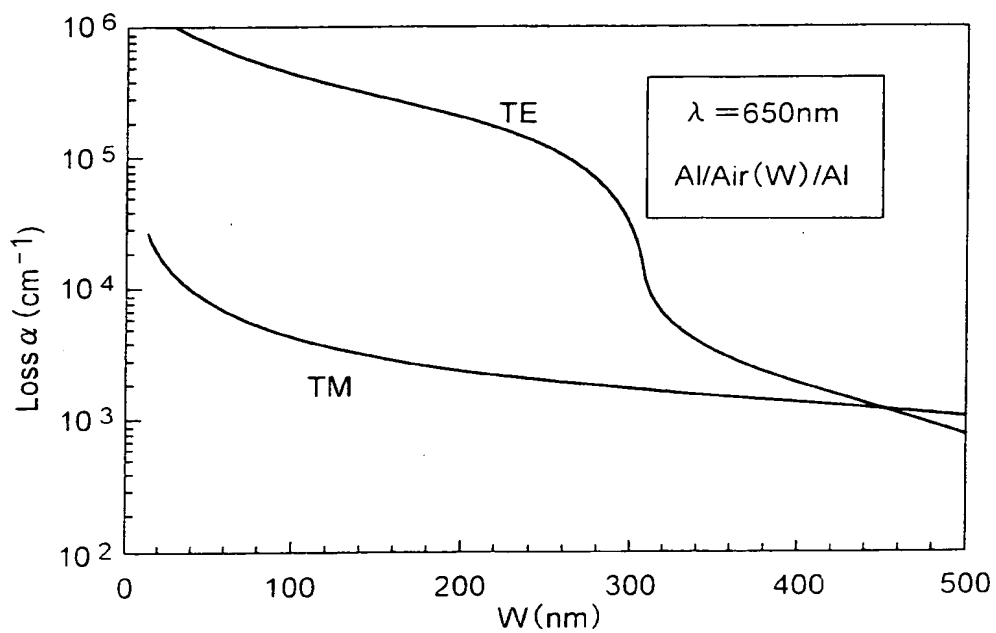
【図 8】



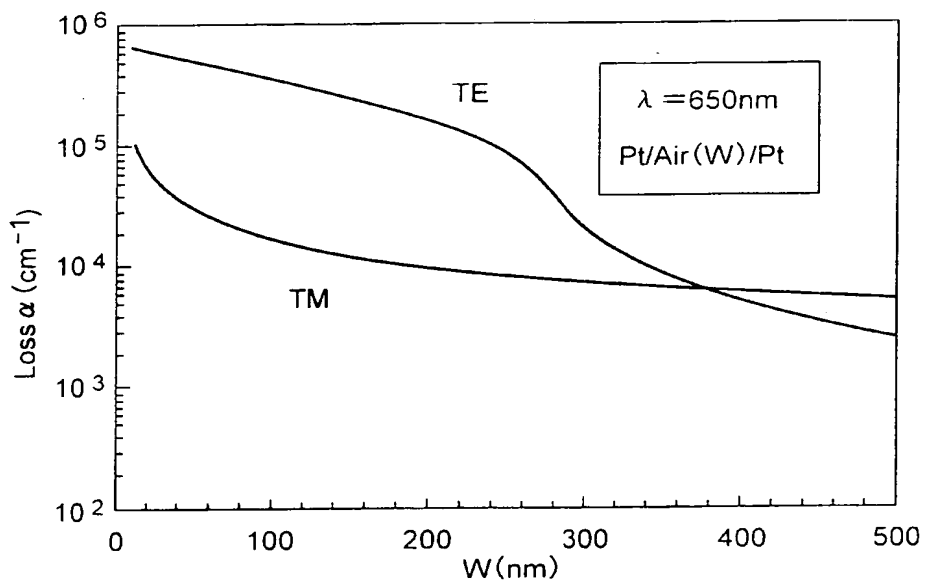
【図 9】



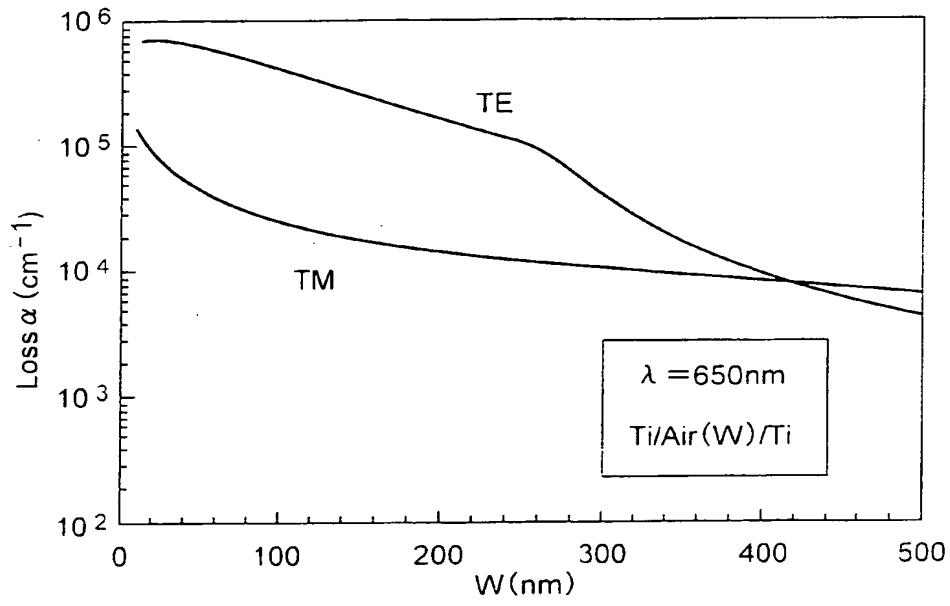
【図 1 0】



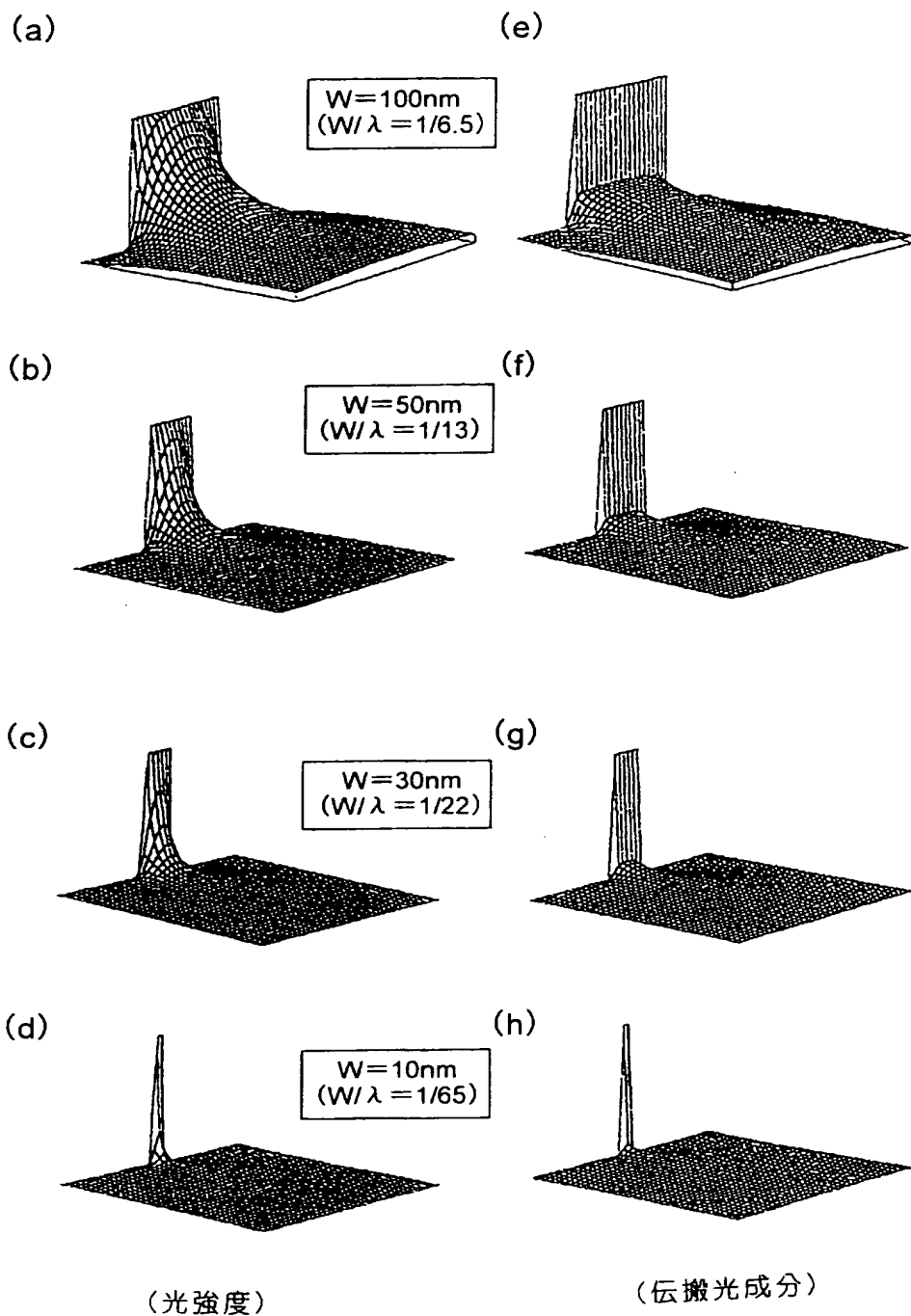
【図 1 1】



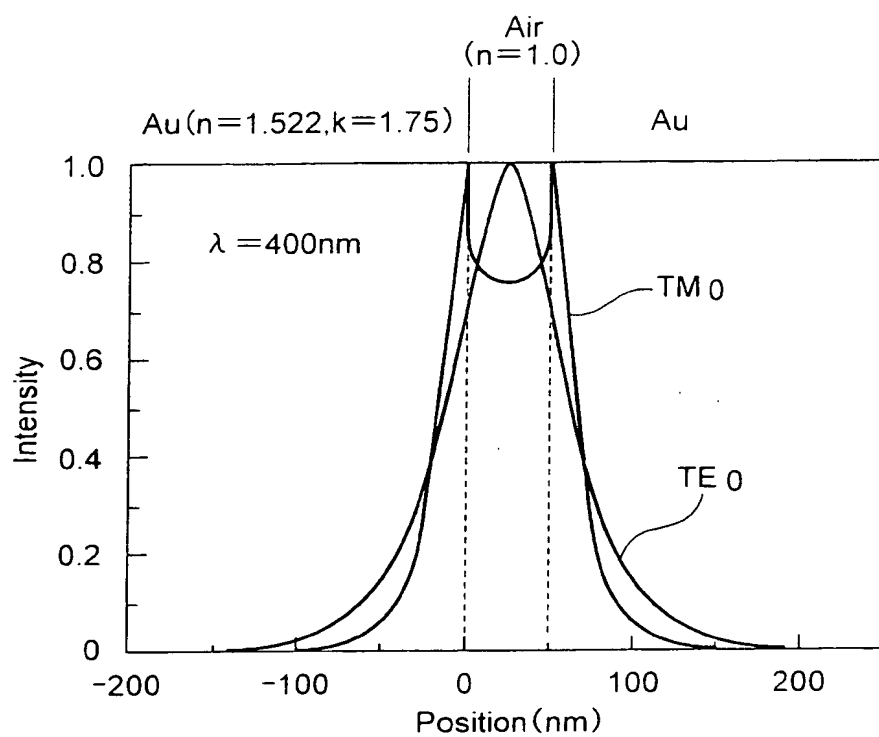
【図 1 2】



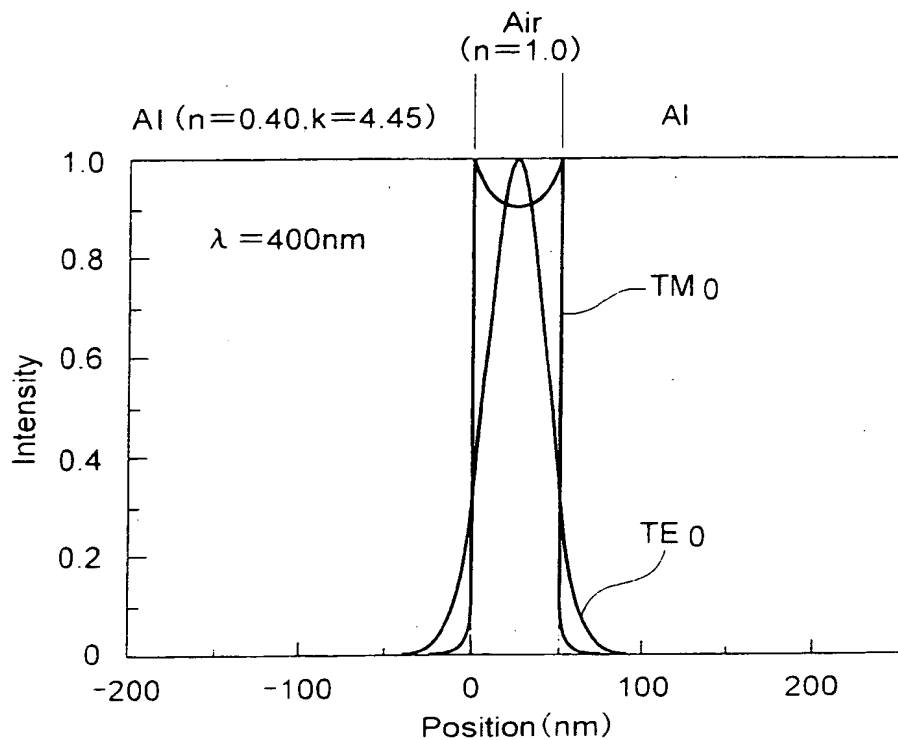
【図 13】



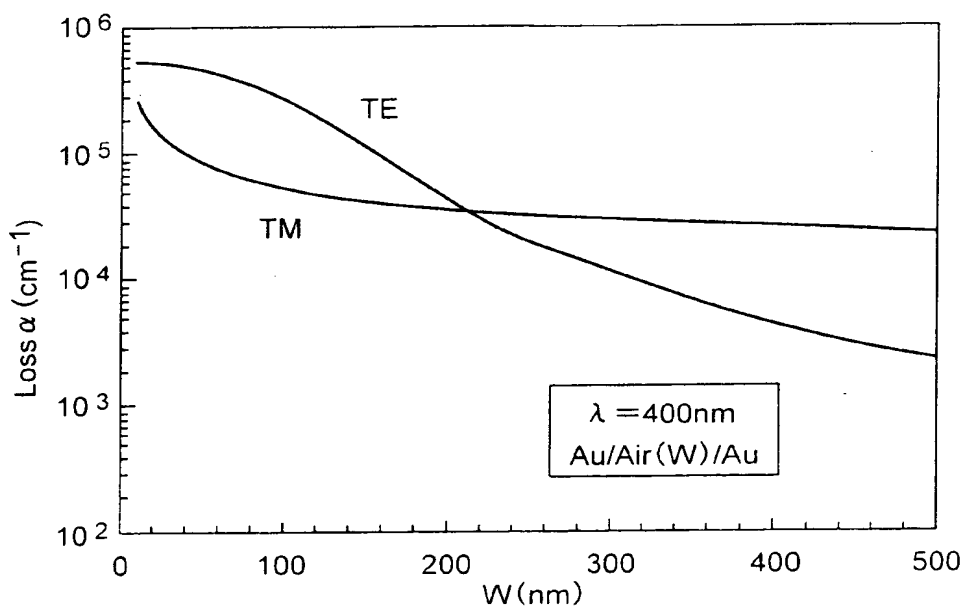
【図 1 4】



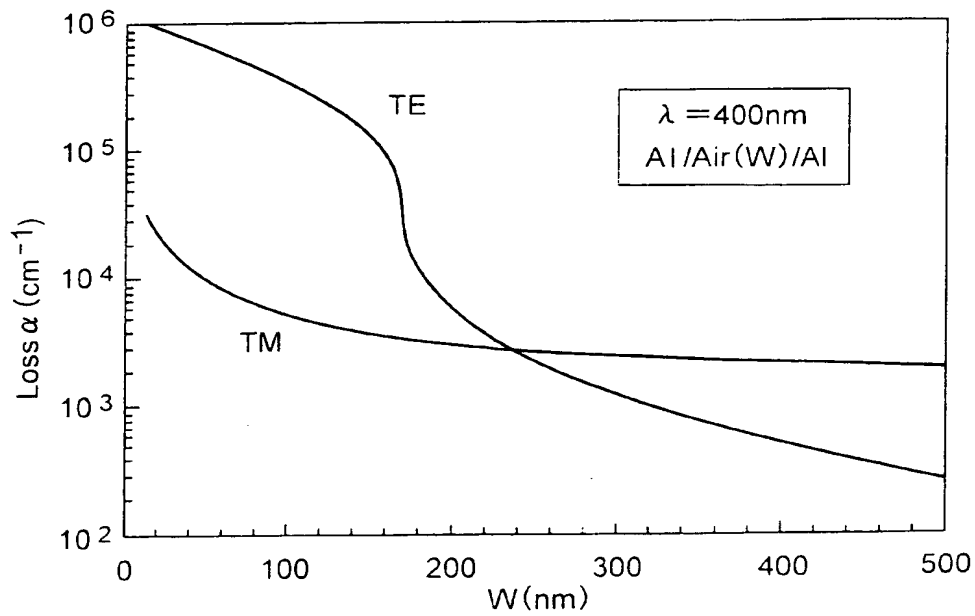
【図 15】



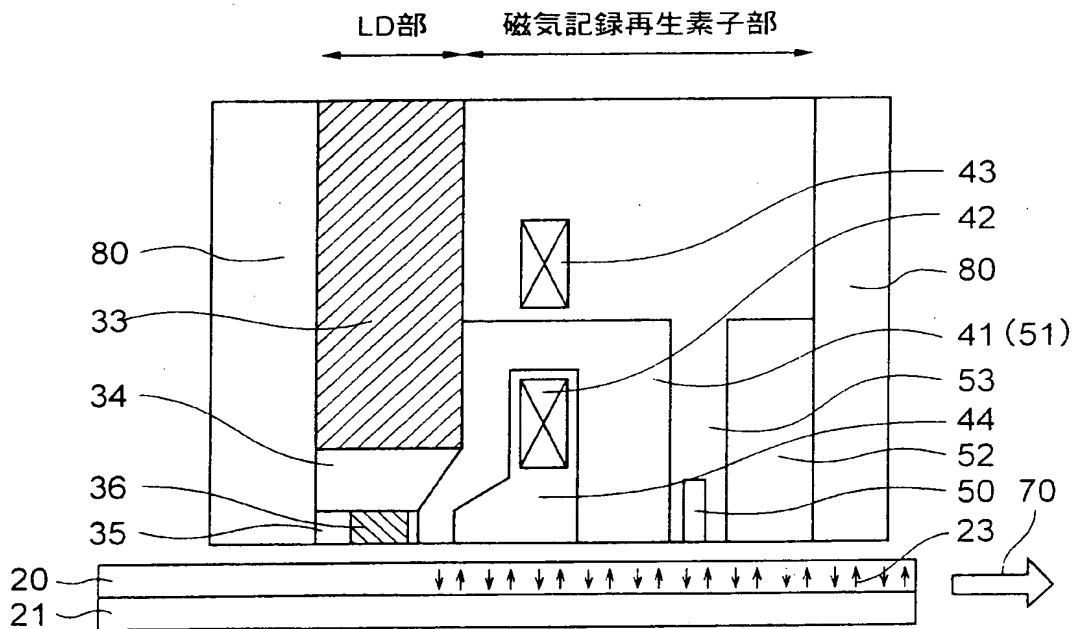
【図 16】



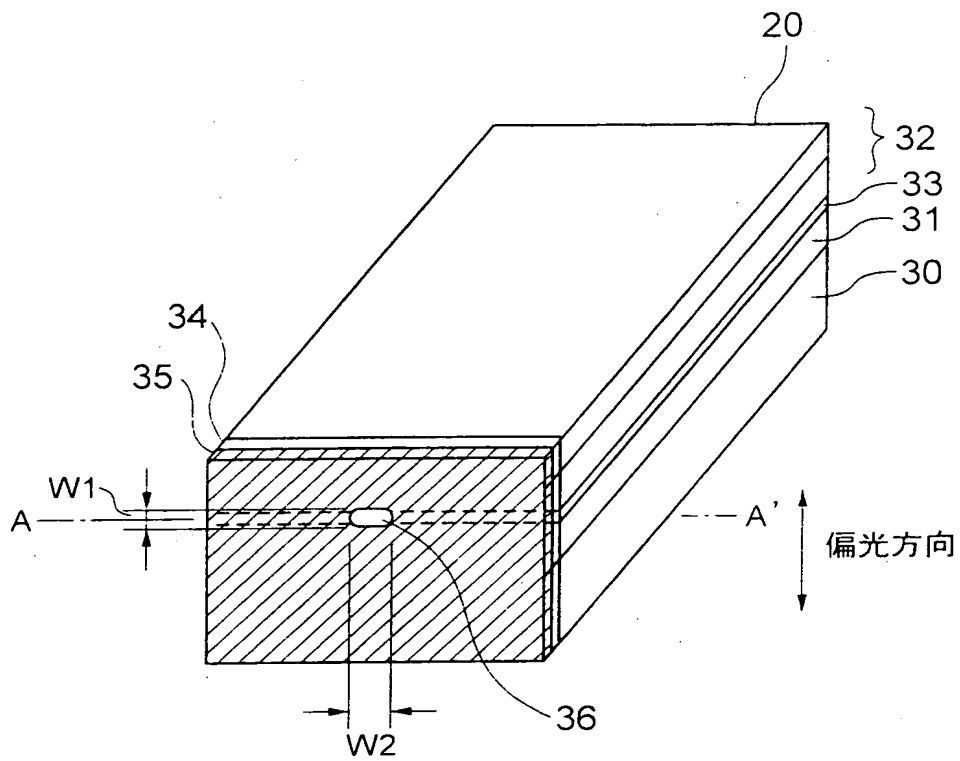
【図 17】



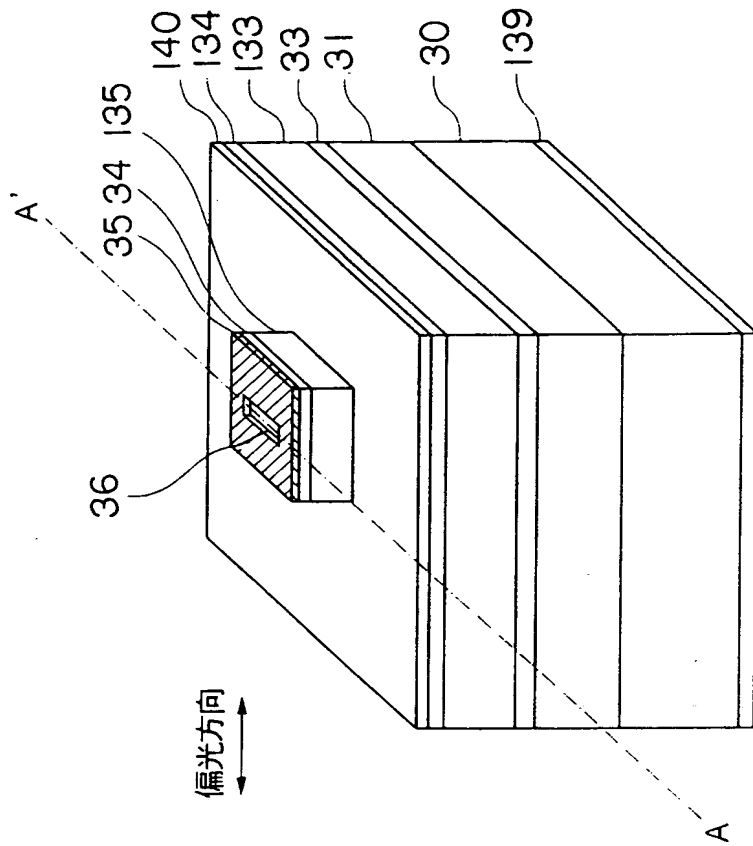
【図 18】



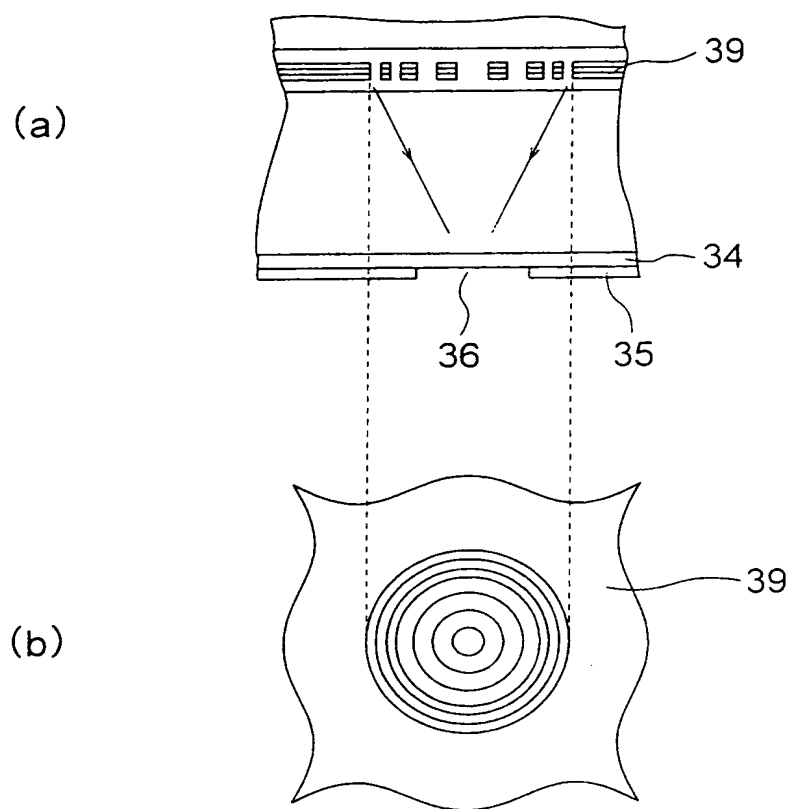
【図19】



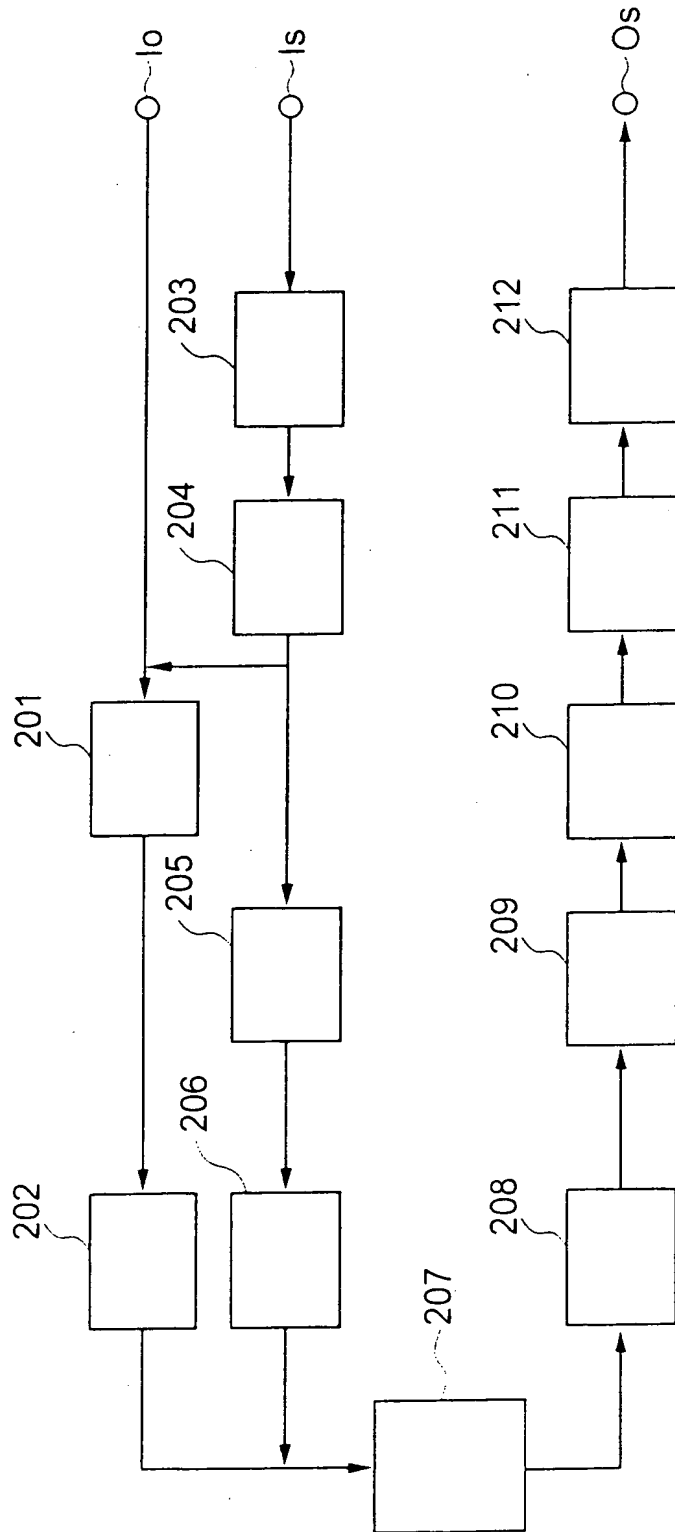
【図 2 1】



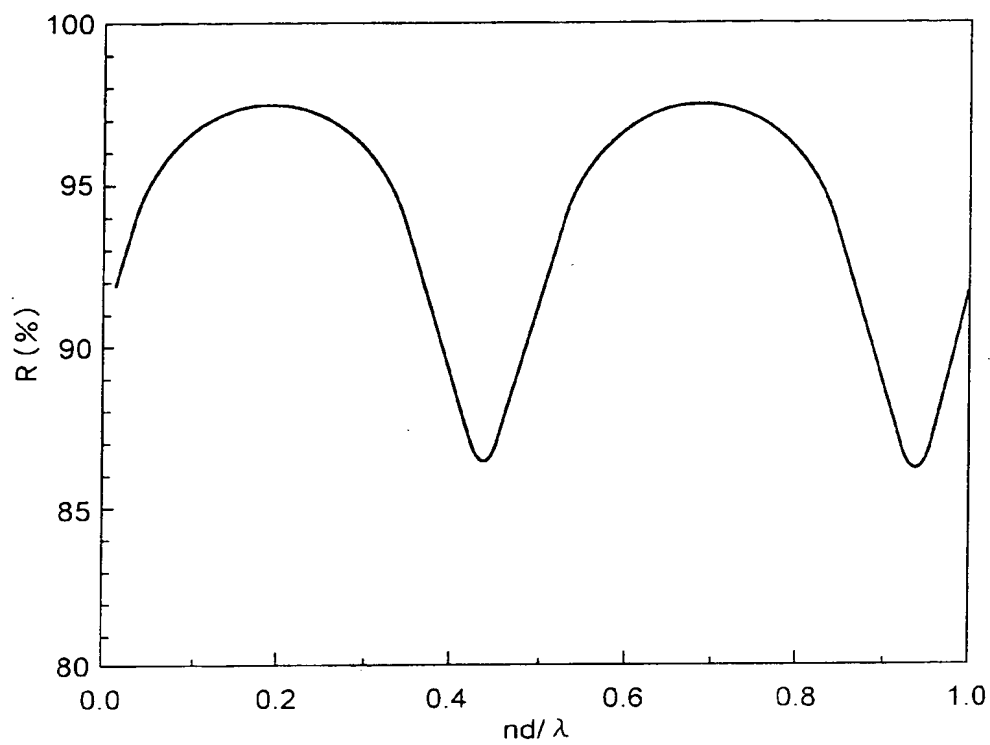
【図 2 3】



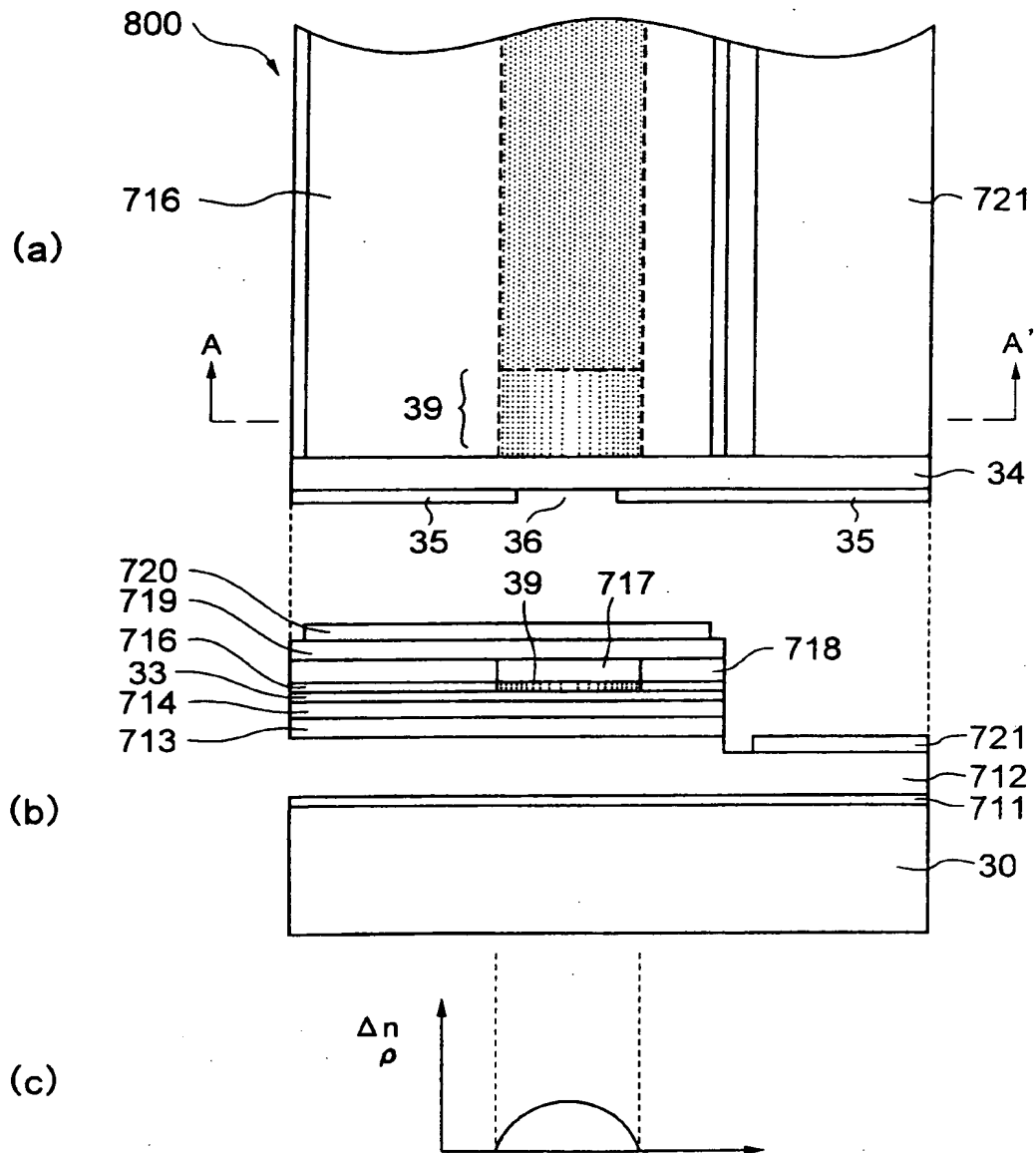
【図 2 4】



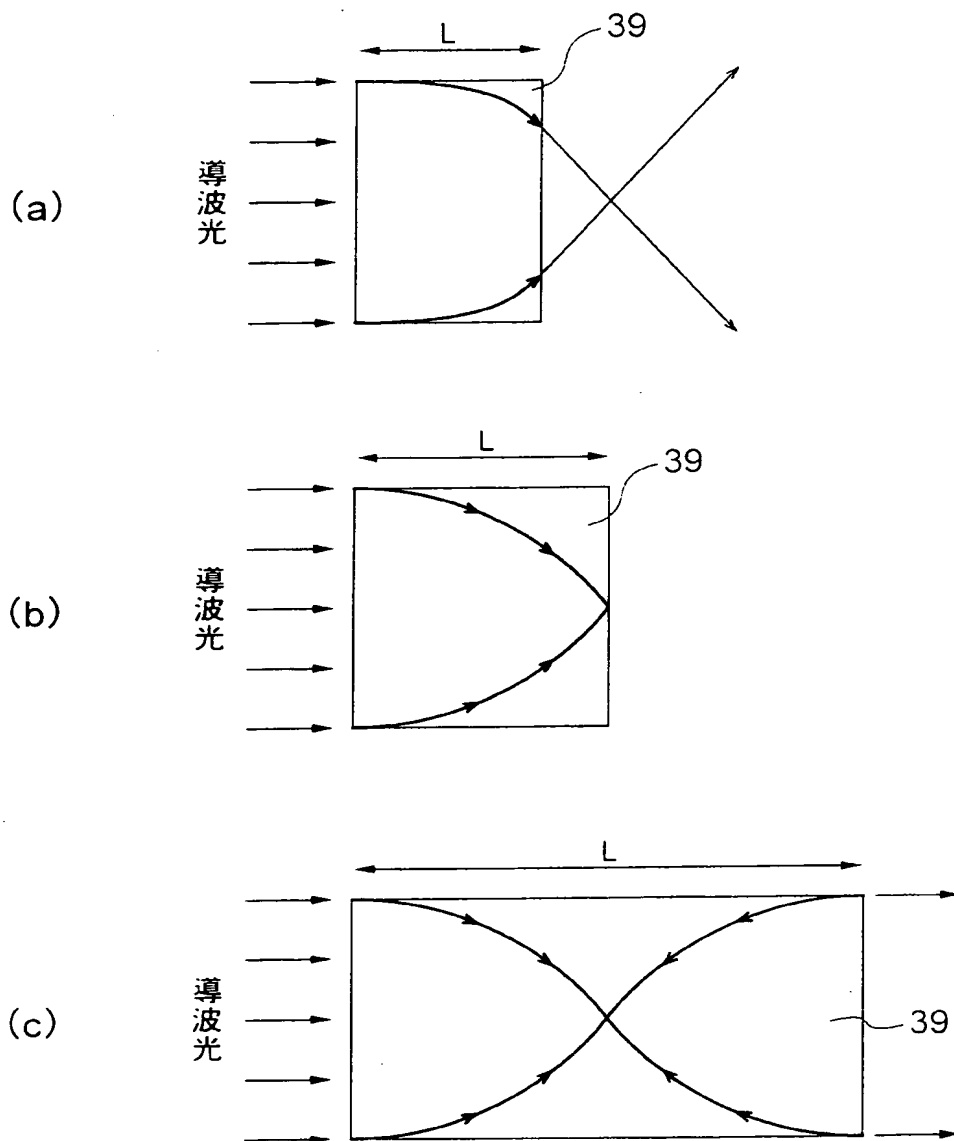
【図 25】



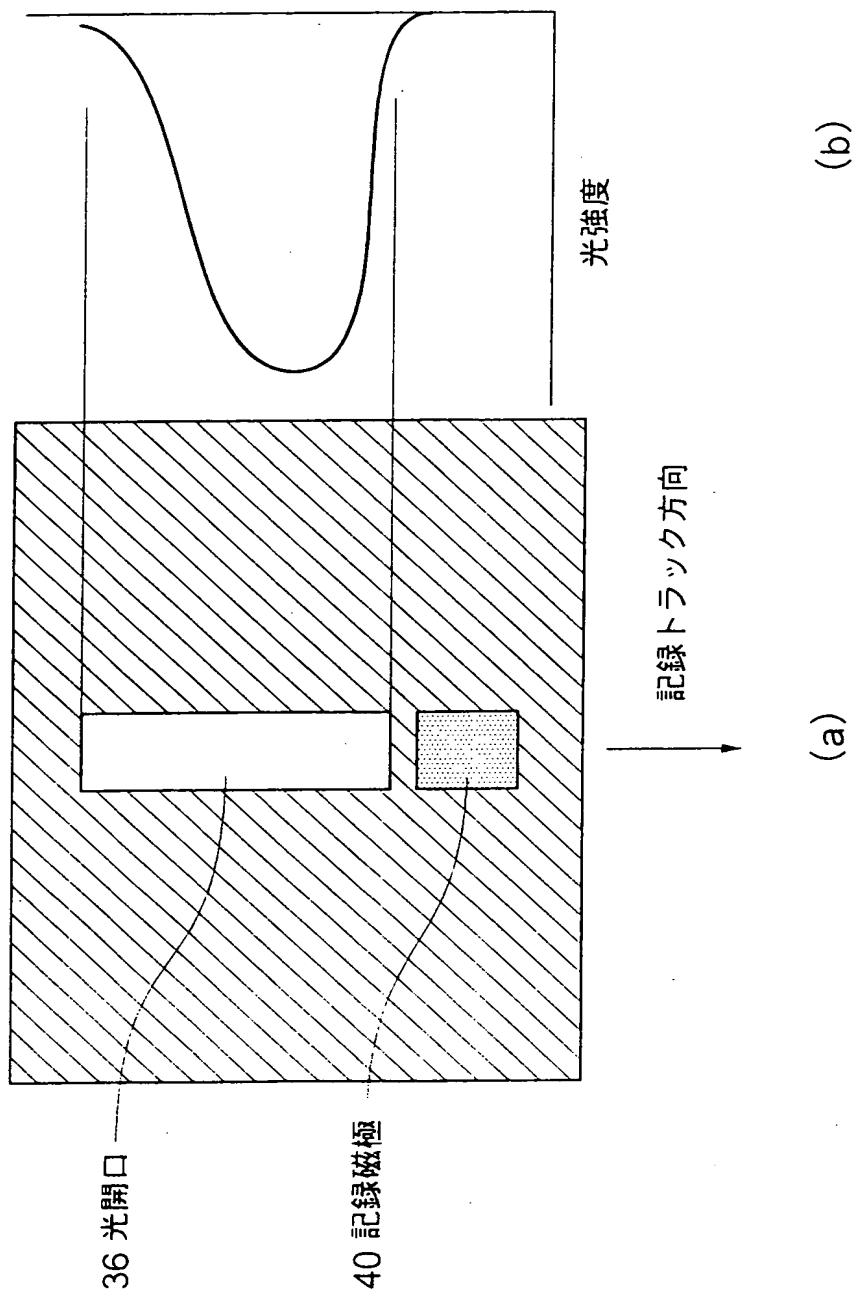
【図 2 6】



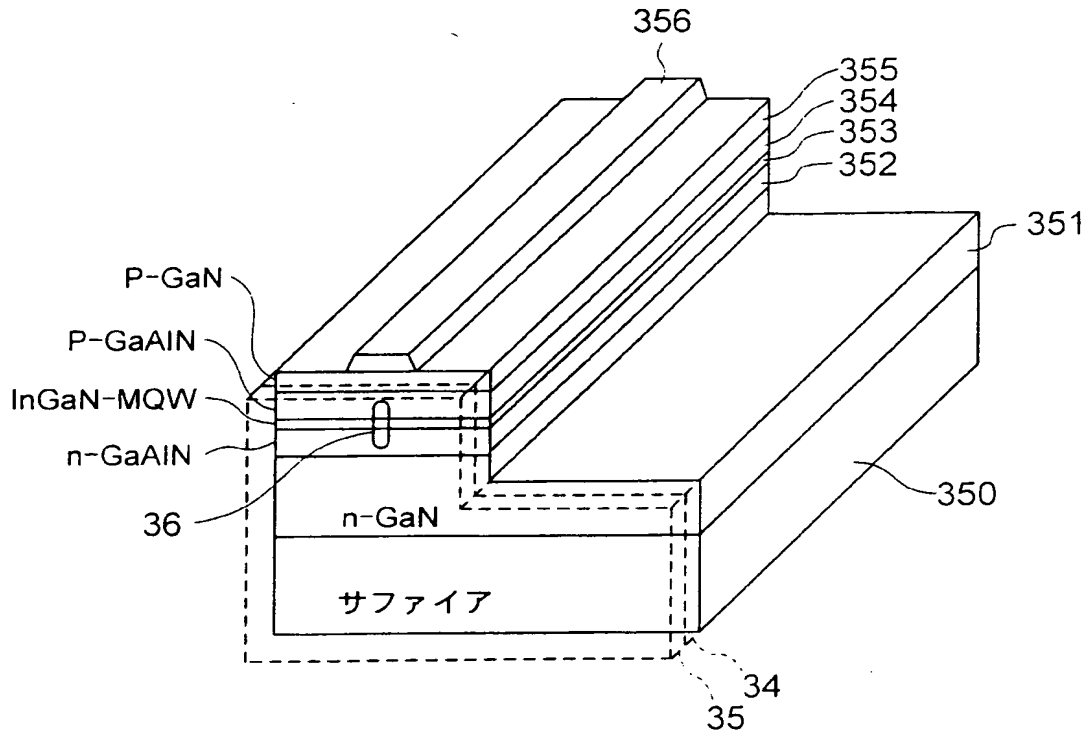
【図 27】



【図 28】



【図 2 9】



出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000003078]

1. 変更年月日 1990年 8月22日
[変更理由] 新規登録
住 所 神奈川県川崎市幸区堀川町72番地
氏 名 株式会社東芝